

I sinkholes nel Lazio

The sinkholes in the Latium region

NISIO S. (*)

1. - INTRODUZIONE

Nel Lazio i fenomeni di sprofondamento naturale sono ben noti e studiati da alcuni decenni. Essi si manifestano in alcune aree di piana alluvionale o costiera, in conche intramontane, in cui generalmente il substrato carbonatico, appartenente al dominio laziale-abruzzese e/o umbro-marchigiano, è ribassato da faglie di importanza regionale che favoriscono una circolazione di fluidi mineralizzati (talora termali e contenenti gas disciolti che conferiscono una certa aggressività).

Molte delle aree interessate sono sismiche, ed alcuni fenomeni sono stati innescati in occasione di terremoti ad elevata magnitudo.

Numerosi *sinkholes* sono stati riconosciuti e studiati nelle seguenti conche intramontane: la Piana di S. Vittorino (RI), la Piana di Sora, la Piana di Cassino, la piana di Pozzo Grande (Tivoli).

Tra le valli fluviali interessate e particolarmente nota è la Valle del Fosso S. Martino (Capena); numerosi sono gli esempi in pianura costiera (Pianura Pontina) a ridosso della faglia bordiera (fig. 1).

Alcune aree collinari e fasce pedemontane caratterizzate da depositi piroclastici sono state interessate in tempi storici da fenomeni di *sinkholes*, gli esempi descritti di seguito sono relativi alle aree del Vulcanismo Albano: Artena, Galliciano nel Lazio, ed ad alcune piane interne nel Viterbese.

Nel Lazio sono state individuate sin ora 34 aree a rischio con un totale di 186 casi censiti, atti-

vi, ricolmati o estinti. Le aree a rischio sono bordate prevalentemente da faglie ad andamento appenninico, con grande rigetto ed estensione, e da alcune strutture ad andamento meridiano quali: la faglia bordiera lepina, la linea Fiamignano - Miccianni.

In tali aree è presente una grande circolazione di fluidi e nelle vicinanze sono presenti sorgenti con elevate portate (sorgenti del Peschiera, sorgenti di Cassino, Acque Albule etc.).



Fig. 1 - Le principali aree di pianura suscettibili al fenomeno *sinkhole* nel Lazio.
- The sinkhole prone plain area of the Lazio Region.

(*) ISPRA - Dipartimento Difesa del Suolo - Servizio Geologico d'Italia - Servizio Geologia Applicata e Idrogeologia.

2. - LA PIANA DI S. VITTORINO (RI) (1)

La Piana di S. Vittorino (fig. 2) prende il nome dall'omonima chiesa, oggi rudere in seguito agli sprofondamenti iniziati nel 1703 (fig. 3); è attraversata dal Fiume Velino e costituisce una depressione tettonica bordata da faglie che ne hanno determinato una particolare conformazione triangolare, con apice rivolto a sud.

Essa è caratterizzata da un notevole sviluppo di forme di collasso e da intensi processi carsici che si sviluppano sui versanti circostanti.

La piana è stata oggetto di studi specifici sin dalla fine dell'ottocento (TENORE, 1872; VERRI, 1886), che sono stati ulteriormente approfonditi di recente (NOLASCO 1986, 1996, 1998; FACCENNA *et alii*, 1993; CIOTOLI *et alii*, 1998, 2001, BIGI *et alii*, 1999; CAPELLI *et alii*, 2000; CENTAMORE & NISIO, 2002a, b, 2003; BERSANI & CASTELLANO 2002; BERSANI & PIOTTI 1994; BERSANI *et alii*, 2000; ANNUNZIATELLIS *et alii*, 2004; CENTAMORE *et alii*, 2004) proprio perché i fenomeni di sprofonda-



Fig. 2 - Panoramica della Piana di S. Vittorino.
- *St. Vittorino plain view.*



Fig. 3 - La Chiesa di S. Vittorino.
- *St. Vittorino Church.*

mento hanno provocato e provocano tutt'ora notevoli danni alle strutture antropiche dell'area.

Non tutti gli Autori sono d'accordo sui processi che hanno favorito la formazione dei fenomeni di *sinkholes* all'interno della piana: secondo alcuni (CAPELLI *et alii*, 2000; BERSANI & CASTELLANO, 2002) la causa potrebbe essere ricercata nella dissoluzione di un orizzonte di travertino posto alla profondità di circa 30 m dal piano campagna e spessore consistente tale da provocare i fenomeni. Secondo altri il travertino non si estenderebbe uniformemente su tutta la piana (NISIO, 2003; CENTAMORE *et alii*, 2004); in alcuni settori infatti, il travertino è ridotto o assente e pertanto la causa va ricercata all'interno di una circolazione profonda di fluidi particolarmente aggressivi.

2.1. - INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La piana è stata colmata da depositi fluvio-lacustri del Pleistocene superiore-Olocene, a differente granulometria, per la maggior parte costituiti da limi (60%), argille (20%), sabbie (10%); localmente si rivengono lenti di ghiaie, e travertini (per lo più sabbiosi), con spessori che variano aumentando verso il centro della piana fino ad un massimo di circa 170 -190 m. Lungo i versanti sono presenti spianate ricoperte da lembi di travertini, da depositi terrazzati e da conoidi del Pleistocene medio.

I depositi continentali che colmano la depressione tettonica di S. Vittorino ricoprono un *bedrock* costituito dalle successioni affioranti, presso il M.te Paterno (fig. 4) dislocato e ribassato verso il centro della piana (CENTAMORE *et alii*, 2003).

I blocchi sono costituiti prevalentemente da formazioni carbonatiche, sulle quali, prima della fase tettonica distensiva, che ha favorito la formazione della depressione, si sarebbero sviluppate forme carsiche, presenti tra l'altro sul versante di M.te Paterno.

Sulla destra idrografica del fiume si elevano i M.ti Reatini, mentre sulla sinistra sono presenti il rilievo carbonatico di M.te Nuria e la dorsale di Calcariola.

La dorsale dei Monti Reatini, a nord, è caratterizzata dalla sovrapposizione di una successione carbonatica pelagica (dell'*Unità dei M.ti Reatini*) su una successione carbonatica di piattaforma e silico-clastica dell'*Unità M.te Nuria* (CENTAMORE & NISIO, 2003a,b).

(1) Realizzato in collaborazione con: CENTAMORE E., CARAMANNA C., CIOTOLI G., LOMBARDI S., ROSSI D. - "La Sapienza" Università di Roma.

Il gruppo montuoso del M.te Nuria, a SE, è costituito da una potente successione carbonatica di piattaforma (piattaforma laziale-abruzzese) con quote che arrivano fino a 1850 m.

La dorsale di Calcariola è caratterizzata prevalentemente dai depositi fluvio-lacustri del bacino di Rieti che ricoprono un substrato costituito da arenarie appartenenti all'Unità del Salto CENTAMORE & NISIO, 2002a,b, 2003 CENTAMORE *et alii*, 2002) e da termini carbonatici dell'Unità M.te Navegna e dell'Unità M.ti Reatini.

La piana è bordata da elementi tettonici distensivi e/o transtensivi che ne hanno condizionato la morfologia (da cui la caratteristica forma triangolare, CENTAMORE & NISIO, 2002a, 2003; CENTAMORE *et alii*, 2004).

Il più importante di questi elementi è la *faglia Fiamignano-Micciani*, una dislocazione di importanza regionale a direzione NW-SE ed immergente verso SW che si segue per chilometri, al di fuori della Piana, pur essendo interrotta e spostata da faglie trasversali e oblique. La faglia mette a contatto le formazioni carbonatiche di M.te Nuria con quelle prevalentemente torbiditiche della depressione del Salto; attraversa tutta la Valle del F. Velino e continua più a Nord, bordando il versante occidentale del gruppo montuoso del Terminillo.

Il segmento che attraversa la Piana di S. Vittorino non è facilmente individuabile sul terreno, anche a causa dei continui e radicali interventi antropici, che dalla fine dell'Ottocento hanno modificato drasticamente l'antico paesaggio lacustre; esso sembra coincidere con l'allineamento Micciani - S. Vittorino (FACCENNA *et alii*, 1993; CIOTOLI *et alii*, 1998; 2000; CENTAMORE & NISIO, 2002a, b).

2.2. - STRATIGRAFIA ED ANALISI STRUTTURALE

La piana di S. Vittorino ricade nella zona di convergenza di quattro unità tettoniche, caratterizzate da una differente evoluzione paleogeografica, da un diverso stile deformativo e separate tra loro da elementi strutturali di importanza regionale.

Dalla più interna e strutturalmente più rilevata alla più esterna esse sono (fig. 4): l'Unità dei M.ti Reatini; l'Unità M.te Navegna; l'Unità del Salto e l'Unità M.te Nuria (CENTAMORE & NISIO, 2002a).

L'Unità dei M.ti Reatini, affiorante nel settore settentrionale dell'area studiata, fa parte di una più estesa unità tettonica appartenente al *dominio pelagico umbro-marchigiano-sabino*. Essa si accavalla sia sull'Unità M.te Navegna sia sull'Unità M.te Nuria, tramite il *sovrascorrimento dei M.ti Reatini*, (figg. 4, 5)

caratterizzato da una superficie a basso angolo a direzione NNE-SSW. Quest'ultimo costituisce un segmento intermedio della *linea Anzio-Ancona Auct.*, che rappresenta una rampa traspressiva destra sviluppata sulla *master fault* giurassica che aveva separato il *dominio umbro-marchigiano-sabino pelagico*, dal *dominio laziale-abruzzese*, neritico. L'unità in questione è suddivisa al suo interno in scaglie minori da alcuni *splays* subparalleli al sovrascorrimento principale.

Nell'area sono ben visibili due di queste scaglie (fig. 5): quella superiore, costituita dalla successione *calcare massiccio, corniola, marne del Serrone, calcari di Cimata del Castello e maiolica*, disposta in una blanda sinclinale, mentre quella inferiore, al tetto del sovrascorrimento principale, è formata dalla successione *scaglia rosata e scaglia cinerea* in giacitura rovesciata. Quest'ultima scaglia tettonica risulta particolarmente deformata dai processi tettonici compressivi, come mostrato dalla presenza di strutture tettoniche tipo *fabric S/C*, foliazioni, clivaggio da dissoluzione per pressione e numerose pieghe mesoscopiche, i cui fianchi orientali risultano spesso rovesciati (CENTAMORE *et alii*, 2004).

L'Unità dei M.ti Reatini si accavalla nei pressi della dorsale di Calcariola sull'Unità M.te Navegna e lungo il versante destro della Valle del Velino sull'Unità M.te Nuria.

L'Unità M.te Navegna affiora localmente nei pressi di Micciani e nella dorsale di Calcariola (fig. 4) ed è ricoperta dai depositi villafranchiani; essa è costituita da una successione meso-cenozoica di rampa carbonatica cui seguono le torbiditi silicoclastiche messiniane. Tale unità è delimitata al suo fronte dalla *linea Olevano-Antrodoco Auct.*, la cui continuità laterale è interrotta dalla *faglia Fiamignano-Micciani*. Questo importante elemento strutturale, del tutto indipendente dalla *linea Anzio-Ancona*, si è sviluppato esclusivamente all'interno del settore occidentale del *dominio laziale-abruzzese* (CENTAMORE & NISIO, 2002b). Tale sovrascorrimento a direzione NW-SE e immersione a SW, è dislocato da una serie di *tear faults* destre a direzione NE-SW (CENTAMORE & NISIO, 2002a).

L'Unità del Salto e l'Unità M.te Nuria, costituiscono elementi strutturali minori di una unità tettonica regionalmente più estesa, del *dominio laziale-abruzzese*, l'Unità Gran Sasso-Marsica (CENTAMORE & NISIO, 2002b).

L'Unità del Salto è delimitata al letto dalla *linea Olevano-Micciani* e a tetto dalla *faglia Fiamignano-Micciani*, che costituisce un elemento strutturale assai complesso, ad attività polifasica in cui si sono sviluppati in tempi diversi processi di inversione tettonica (CENTAMORE & NISIO, 2002a *cum*



Fig. 4 - Carta geologica della piana di S. Vittorino a cura di CENTAMORE *et alii*, 2004. Legenda: Depositi olocenici e del Pleistocene superiore: 1a) alluvioni recenti e alluvioni terrazzate del III ordine; 1b) conoidi alluvionali; 1c) detriti di versante. Depositi del Pleistocene medio finale: 3a) alluvioni terrazzate del II ordine; 3b) travertini; 3c) conoidi alluvionali. Depositi del Pleistocene medio inferiore: 4a) alluvioni terrazzate del I ordine; 4b) travertini; 4c) conoidi alluvionali. Depositi villafranchiani del Bacino di Rieti: 5a) depositi fluvio-lacustri (Villafranchiano superiore); 6a) depositi fluvio-lacustri; 6b) paleofrane; 6c) breccie (Villafranchiano inferiore). Unità dei Monti Reatini: 7) scaglia cinerea; 8) scaglia rossa; 9) Maiolica; 10) Calcarei di Cimata del Castello; 11) Marne del Serrone; 12) Corniola; 13) Calcare Massiccio. Unità Monte Navegna: 14) Torbiditi silicoclastiche messiniane; 15) Marne a *Orbulina*; 16a) unità marnoso-argillosa membro superiore; 16b) unità marnoso-argillosa membro inferiore; 17) calcareniti a punti rossi. Unità Salto: 18a) torbiditi silicoclastiche messiniane; 18b) torbiditi silicoclastiche messiniane con olistostromi. Unità M. Nuria: 19) torbiditi silicoclastiche messiniane; 20) marne a *Orbulina*; 21) unità argilloso-marnosa; 22) calcareniti a punti rossi; 23) calcareniti arancioni; 24) calcareniti a macroforaminiferi; 25) calcari a radiolitidi; 26) calcari ciclotemici a requenie; 26b) calcari intrabauxitici; 27a) calcari e marne a *Salpingoporella*; 27b) calcari a coralli; 28a) calcari a requenie e caprotine; 28b) calcari a clasti neri e gasteropodi; 29) calcari ciclotemici a gasteropodi; 30a) calcari a clasti neri e gasteropodi; 30b) calcari a *Ellipsactiniae*; 31) calcari a coralli e diceratidi; 32) calcareniti a echinodermi e coralli; 33) unità calcareo dolomitica.

- S. Vittorino plain Geological map. From CENTAMORE *et alii*, 2004. Legend: Holocene-upper Pleistocene: 1a) Recent and terraced alluvial deposits (III order); 1b) Alluvial fan; 1c) Detritus. Upper-middle Pleistocene: 3a) Terraced alluvial deposits (II order); 3b) Travertine; 3c) Alluvial fan. Middle-inf. Pleistocene: 4a) Terraced alluvial deposits (I order); 4b) Travertine; 4c) Alluvial fan. Rieti Basin Villafranchian deposits: 5a) Fluvial and lacustrine deposits (upper Villafranchian); 6a) Fluvial and lacustrine deposits 6b) Paleolandslides; 6c) Breccia. M. Reatini Unit: 7) Scaglia cinerea; 8) Scaglia rossa; 9) Maiolica; 10) Calcarei di Cimata del Castello; 11) Marne del Serrone; 12) Corniola; 13) Calcare Massiccio. M. Navegna Unit: 14) Messinian siliciclastic turbidites; 15) Marne a *Orbulina*; 16a and b) Unità marnoso-argillosa superior and inferior member; 17) Calcareniti a punti rossi. Salto Unit: 18) Messinian siliciclastic turbidites, with olistostromes (18b). M. Nuria Unit: 19) Messinian siliciclastic turbidites; 20) Marne a *Orbulina*; 21) Unità argilloso-marnosa; 22) Calcareniti a punti rossi; 23) Calcareniti arancioni; 24) Calcareniti a macroforaminiferi; 25) Calcari a radiolitidi; 26) Calcari a requenie; 26b) Calcari intrabauxitici; 27a) Calcari e marne a *Salpingoporella*; 27b) Calcari a coralli; 28a) Calcari a requenie e caprotine; 28b) Calcari a clasti neri e gasteropodi; 29) Calcari ciclotemici a gasteropodi; 30a) Calcari a clasti neri e gasteropodi; 30b) Calcari a *Ellipsactiniae*; 31) Calcari a coralli e diceratidi; 32) Calcareniti a echinodermi e coralli; 33) Unità calcareo dolomitica.

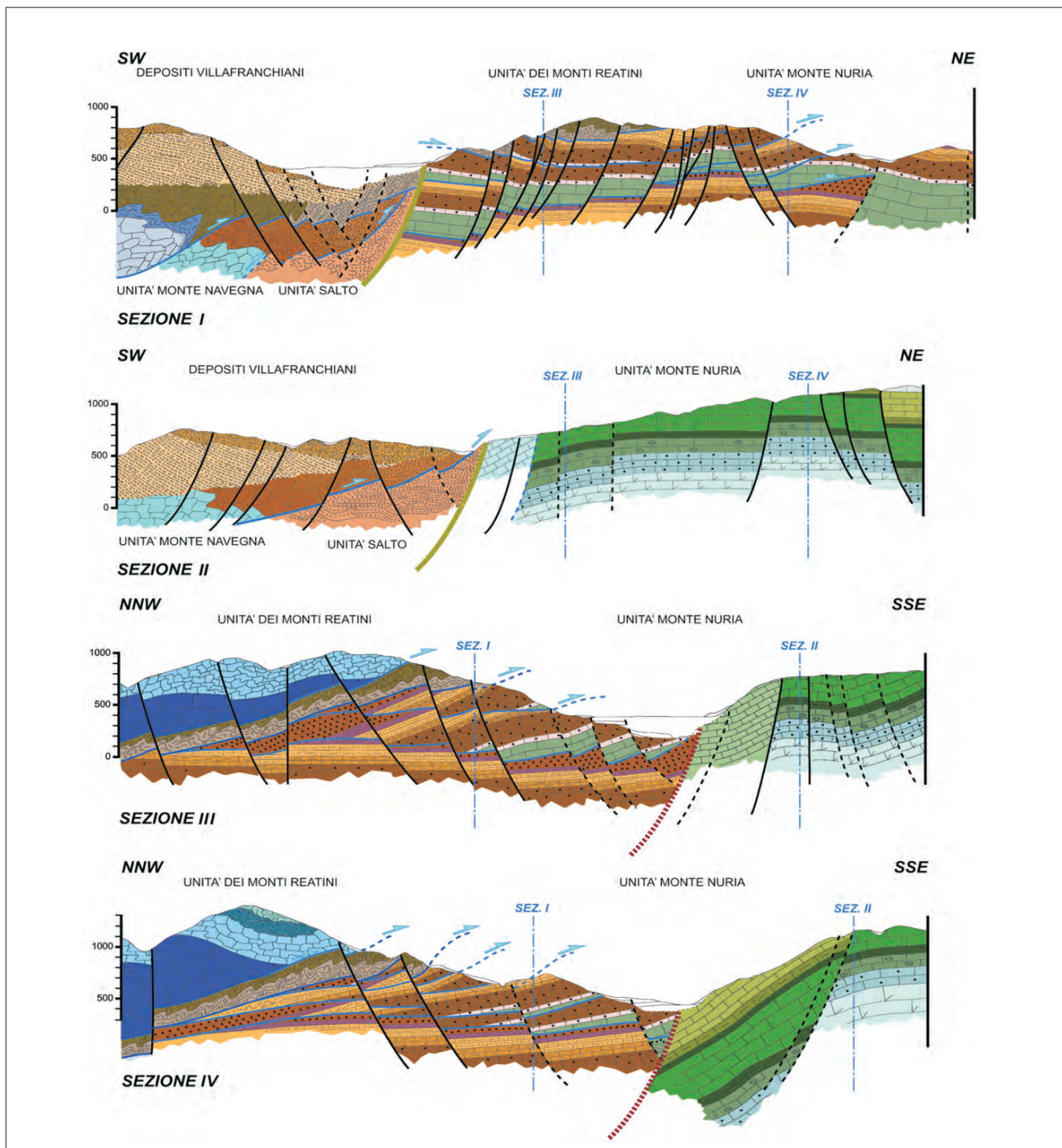


Fig. 5 - Profili geologici della piana; le tracce delle sezioni sono riportate nello schema geologico. Da CENTAMORE *et alii*, 2004.
 - St. Vittorino plain Geological profile; The section traces are shown in the geological sketch. From CENTAMORE *et alii*, 2004.

biblio). Nell'area in esame l'Unità del Salto (fig. 4) è rappresentata solo da un esiguo lembo delle *torbiditi silicoclastiche messiniane*, estesamente affioranti nella depressione del Salto con spessori notevoli e probabilmente presenti anche nell'estremo settore sud-occidentale della Piana di S. Vittorino al disotto dei depositi villafranchiani e dell'Unità *M.te Navegna*.

L'Unità *M.te Nuria* rappresenta l'unità tettonica più esterna e strutturalmente più bassa. Essa è delimitata a SW dalla *faglia Fiamignano-Micciani* e a NW dal *sovrascorrimento dei M.ti Reatini*, attraverso il quale l'Unità dei *M.ti Reatini* si accavalla sull'unità in esame (figg. 4, 5). L'Unità *M.te Nuria* è caratterizzata da una potente successione carbonatica mesozoica di piattaforma interna, cui segue nel settore nord

occidentale, in destra del F. Velino, una successione miocenica di rampa carbonatica, con depositi calcareo-marnosi dello spessore di 50-100 metri, chiusa al tetto dalle *torbiditi sinorogeniche messiniane*.

Dal punto di vista strutturale l'unità in esame è organizzata in una ampia anticlinale nel blocco localizzato in sinistra del Velino (dorsale di M.te Nuria), mentre è dislocata da una serie di *splays*, con piani a debole immersione a NW, paralleli al sovrastante *sovrascorrimento dei M.ti Reatini*, nel blocco di M.te Paterno-Canetra, in destra del Velino (fig. 5). Al tetto di ciascuno di questi sovrascorrimenti minori è localizzata la successione carbonatica cretaceo-miocenica mentre al letto si rinvengono i depositi marnoso-argillosi o le torbiditi silicoclastiche (CENTAMORE & NISIO, 2002b).

2.3. - INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'area di studio è localizzata ad Est della Piana di Rieti ed è caratterizzata dalla presenza di un'ampia valle, dalla particolare forma triangolare con apice rivolto a Sud, attraversata dal F. Velino, il cui corso è stato modificato alla fine del secolo scorso da drastici interventi antropici.

Sulla destra idrografica del fiume si elevano i M.ti Reatini, mentre sulla sinistra sono presenti il rilievo carbonatico di M.te Nuria e la dorsale di Calcariola, costituita dai depositi fluvio-lacustri del bacino di Rieti.

Nell'area in esame si possono distinguere alcuni settori con differenti caratteristiche morfologiche (fig. 6):

- un settore montano, a SE, rappresentato dal blocco Colle Impicciavera-Pendenza, appartenente al gruppo montuoso del M.te Nuria, con quote comprese tra 1400-1000 m, in cui affiorano le successioni carbonatiche laziali-abruzzesi;
- un settore montano-altocollinare, a N, esteso da Cimata del Castello-Colle Cesarini a M.te Paterno Fontanelle, caratterizzato dalla sovrapposizione della successione carbonatica dell'Unità dei M.ti Reatini su quella carbonatica e silico-clastica dell'Unità M.te Nuria;
- un settore alto-collinare, a SW, individuato tra Micciani e la dorsale di Calcariola, costituito prevalentemente dai depositi fluvio-lacustri del bacino di Rieti e da limitati lembi dell'Unità dei Monti Reatini, dell'Unità Salto, dell'Unità M.te Navegna;
- un settore pianeggiante, con quote variabili tra 420 e 400 m, rappresentato nella porzione centrale dell'area dalla Piana di S. Vittorino, colmata da depositi fluvio-lacustri del Pleistocene superiore-Olocene e ai cui bordi sono presenti lembi di travertini, di depositi terrazzati e di conoidi del Pleistocene medio (fig. 7).

I settori sopra individuati presentano caratteri geomorfologici diversi tra loro in relazione alle successioni litologiche del substrato, al loro assetto strutturale e alla complessa evoluzione geologica dell'area.

Il primo settore, quello carbonatico del Colle Impicciavera – Pendenza, è costituito da una struttura a blocchi ribassati verso il Velino. Tale settore è caratterizzato da una serie di dorsali, allungate in direzione NE-SW fino a Monte Serra Secca e a direzione E-W nei pressi di Pendenza, bordate da faglie e separate da strette depressioni, spesso riempite di materiali eluvio-colluviali.

Sul versante prospiciente il Velino, che presenta una notevole acclività, sono localizzate piccole trincee, parallele al versante, e faccette triangolari.

Tra il Colle Impicciavera e Pendenza, la struttura è ulteriormente complicata da una serie di blocchi, ribassati progressivamente verso SW e caratterizzati dalla presenza di scarpate e faccette triangolari (fig. 6). Nel settore citato si osservano cavità carsiche di dimensioni piuttosto modeste, ad eccezione di quella di Casale S. Marco.

La morfologia del secondo settore appare invece molto più articolata: nella parte più elevata si osserva una serie di superfici relitte, costituite da spianate o da superfici a debole inclinazione, tutte incassate nella Superficie sommitale Auct., presente alla sommità del Terminillo e disposte per lo meno in due ordini altimetrici.

Le più evidenti sono quelle individuate tra Cimata del Castello (1503 m) - Prato Miccio-Colle Riofagio (1319 m) e tra Colle Cesarini (1454 m) e Colle Falzola-Fontanelle (1310 m), che rappresentano le superfici relitte più elevate del 1° ordine mentre quelle localizzate a Paterno e a Fontanelle (1142 m), (sulla quale poggiano i depositi di paleofrana) e (1027 m), rappresentano le paleosuperfici più ribassate quelle del 2° ordine (fig. 6).

Sui versanti meridionali di M.te Paterno si individuano a diverse altezze altre spianate, tutte localizzate all'emergenza delle superfici dei sovrascorrimenti.

La più evidente, anche per le maggiori dimensioni areali, è quella localizzata a circa metà del versante tra Colle Croce e quota 675 m, in corrispondenza dell'affioramento del *thrust* basale dell'Unità dei M.ti Reatini e sulla quale si sono depositi lembi di *Brecce di Fontanelle*. Altre due piccole rotture morfologiche non cartografabili si evidenziano lungo gli affioramenti degli *splays* che dislocano l'Unità M.te Nuria tra S. Vittorino e Castel S. Angelo e tra Villa Ornano e S. Martino. Tutte le superfici relitte e le spianate minori localizzate in corrispondenza dei sovrascorrimenti, sono dislocate dai sistemi di faglie prima descritti.

In corrispondenza di alcune di queste disloca-

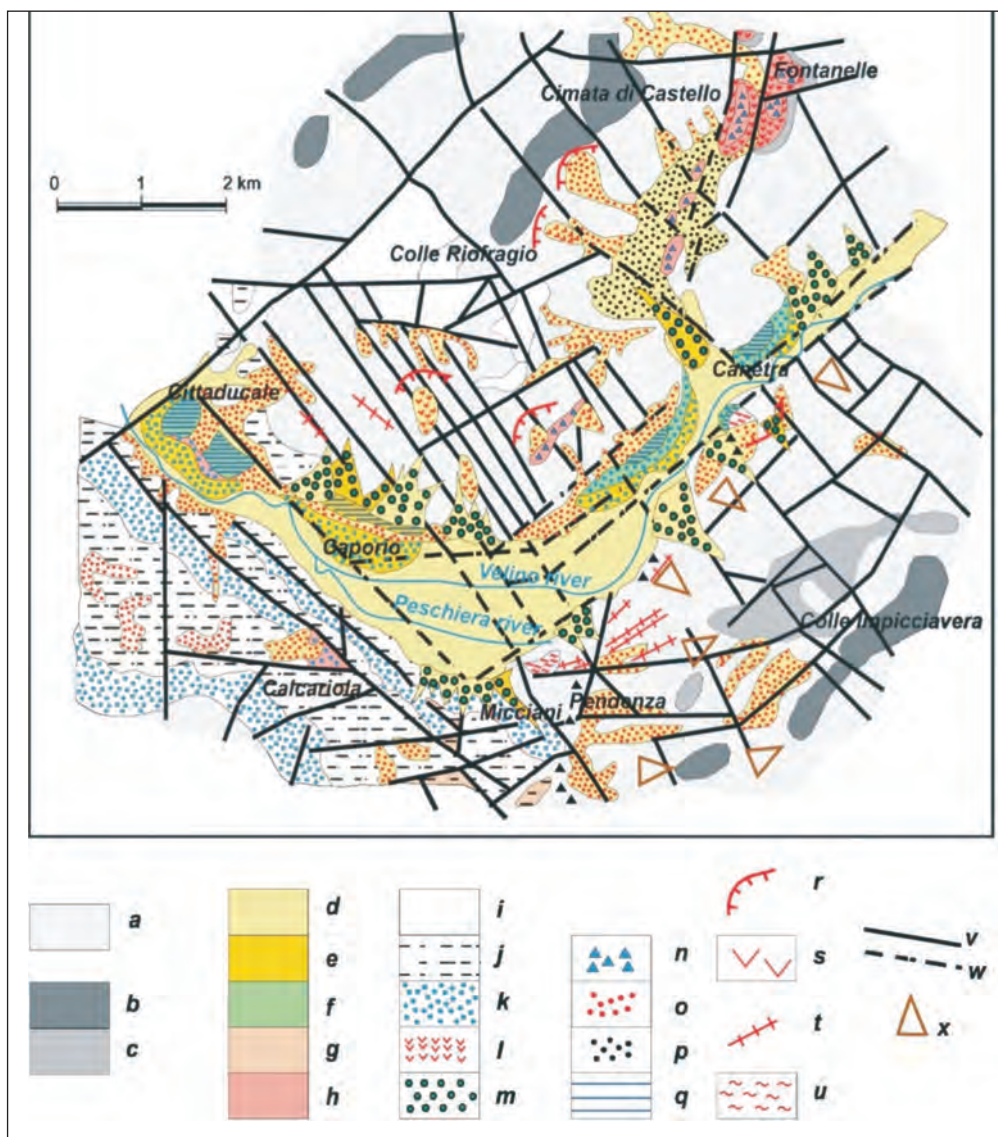


Fig. 6 - Schema geomorfologico dell'area da CENTAMORE & NISIO, 2002: a) substrato; unità erosionali (superfici relitte); b) superficie di Cimata del Castello; c) superficie di Fontanelle; unità deposizionali: d) sistema S. Vittorino (Olocene); e) sistema Caporio (Pleistocene Sup.); f) sistema Canetra - Cittaducale (Pleistocene Medio); g) sistema Fontanelle (Villafranchiano sup.); h) sistema Calcariola (Villafranchiano inf.); depositi continentali (soprassegno): i) alluvioni recenti; j) depositi lacustri; k) depositi alluvionali; l) frane antiche; m) conoidi alluvionali; n) breccie; o) depositi eluviali e colluviali; p) detrito di versante; q) travertini; forme e depositi dovuti alla gravità: r) scarpata di frana; s) corpo di frana; t) trench; u) deformazione gravitativi di versante; v) faglia con attivazione quaternaria; w) faglia sepolta; x) faccetta triangolare.

- *Geomorphological sketch of the St. Vittorino Plain. From CENTAMORE & NISIO 2002a.*

zioni si sono impostate le numerose valleciole incise lungo i versanti di Valle Ottara-Fosso delle Valli e del Fosso di Valle Santa. Quest'ultima costituisce una depressione tettonica, di notevoli dimensioni, in cui sono stati ribassati da sistemi di faglie NNE-SSW, EW e NW-SE sia i depositi di paleofrana che le soprastanti *Brecce di Fontanelle*.

Nella porzione meridionale di questo settore sono presenti numerose doline, alcune delle quali interessate da collassi e crolli. Le cavità carsiche sono più diffuse e presentano dimensioni maggiori rispetto a quelle del primo settore. Le doline ubicate nella Montagna dei Cesoni sono per la maggior parte allineate lungo alcune delle dislocazioni a direzione NW-SE e risultano talora accompagnate da trincee allungate nella stessa direzione. Lungo il versante tra S. Vittorino e Castel S. Angelo si osservano alcune cavità per lo

più collassate, il cui fondo è impostato sulla superficie dei sovrascorrimenti minori che dislocano l'Unità M.te Nuria, al contatto tra i calcari a radio-litidi e le calcareniti a punti rossi e la sottostante Unità calcareo-marnosa. Ai piedi del versante della Montagna dei Cesoni una trincea di origine tettonica, colmata da depositi di versante tardo-pleistocenici ed olocenici dislocati (MICHETTI *et alii*, 1994) e basculamenti evidenti nei depositi dell'Unità deposizionale superiore del Bacino di Rieti (affioranti sui versanti di C. Malatesta a nord di Cittaducale) costituiscono chiare evidenze morfologiche legate agli effetti della tettonica recente.

Il terzo settore quello di Micciano-dorsale di Calcariola, allungato in senso appenninico, è separato dal blocco di Colle Impicciavera-Pendenza da una valle stretta e profonda incisa sui depositi carbonatici dell'Unità M.te Navegna. La sua sommi-

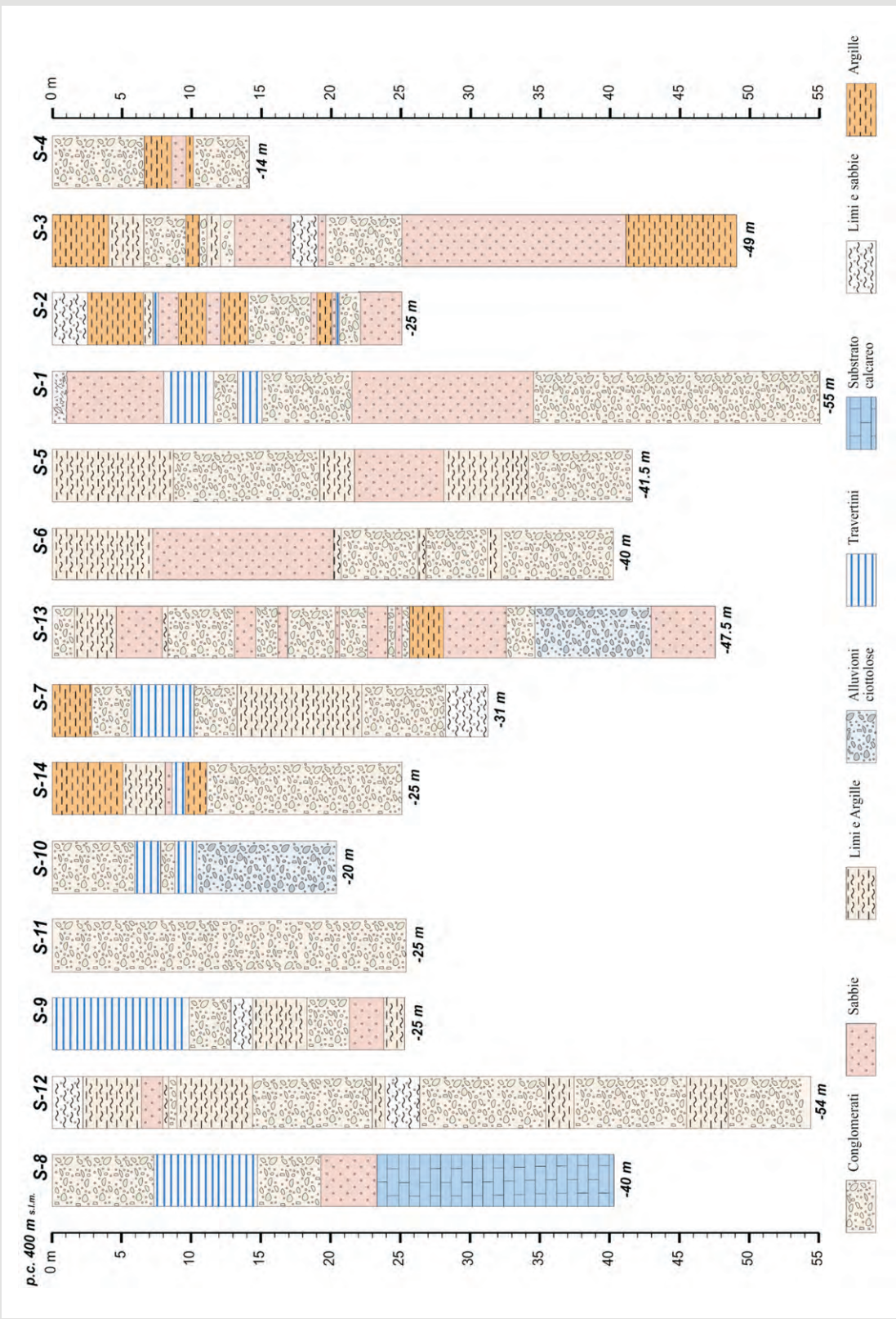


Fig. 7 - Stratigrafie ricostruite dai sondaggi geognostici, da CENTAMORE *et alii*, 2004.
- *Stratigraphic data reconstructed from boreholes, from CENTAMORE *et alii*, 2004.*

tà è caratterizzata da limitate spianate e deboli ondulazioni, separate da limitate depressioni, colmate da depositi eluvio-colluviali, impostate su dislocazioni E-W.

I suoi versanti incisi da numerosi fossi a direzione antiappenninica, presentano notevole acclività. Sul lato nord-orientale si notano scarpate fresche, faccette triangolari, limitate rotture di pendio e trincee parallele al versante (a Nord di quota 650 m), colmate da depositi eluvio-colluviali. Tutti questi fenomeni sono legati all'attività di faglie appenniniche, alcune delle quali come quella del Fosso Canalicchio (a SW di Calcariola) già impostatesi durante l'evoluzione del Bacino di Rieti durante la sedimentazione dell'Unità deposizionale inferiore. Esse in genere favoriscono una serie di sgradinamenti verso NE o l'innescio di deformazioni gravitative profonde, evidenziate da trincee.

All'estremità NW della dorsale è evidente una brusca e ripida scarpata di faglia a direzione NE-SW e ribassamenti a NW sulla continuazione meridionale della faglia del Fosso Valle Ottara-Valle dei Fossi a N del F. Velino.

Il quarto settore è costituito dalla Piana di S. Vittorino, collocata tra le quote di 420 m e 402 m. Lungo i suoi bordi sono localizzati lembi di depositi terrazzati, ricoperti da travertini disposti in due ordini altimetrici: quelli ubicati ad altezze comprese tra i 500 e 420 m (Canetra, S. Rocco, Cittaducale) appartengono a quelli del I° ordine (del Pleistocene medio, CARRARA *et alii*, 1993), mentre quelli che si rinvencono a quote comprese tra 450 e 400 m appartengono al II° ordine (del Pleistocene medio finale, *Ibidem*).

Ai piedi dei versanti sono presenti falde detritiche e conoidi alluvionali, sia coevi dei depositi terrazzati dei due ordini, sia del Pleistocene superiore-Olocene. Tra questi ultimi è particolarmente sviluppato il conoide olocenico di C. Cesoni, che ricopre i travertini e le costruzioni delle Terme di Vespasiano (dintorni di S. Vittorino).

La piana in esame, oggetto sin dalla fine del secolo scorso di una serie di notevoli interventi antropici che ne hanno modificato notevolmente il paesaggio, è caratterizzata dalla presenza di cavità circolari (camini di collasso o *sinkholes*) che ospitano laghetti e piccole pozze, di sorgenti mineralizzate, di sprofondamenti localizzati, in concentrazioni anomale dei fluidi gassosi, ed emergenze di sorgenti di acqua dolce.

2.4. - CENNI SUL CARISMO DELL'AREA

Nell'area in esame, dove predominano largamente le formazioni carbonatiche, sono molto sviluppati i processi carsici, che costituiscono uno

degli agenti morfogenetici più importanti nell'evoluzione morfodinamica dell'area.

In base alla presenza di cavità carsiche, ipogee ed epigee, a diversa evoluzione e tipologia, si possono distinguere alcuni settori, caratterizzati ciascuno da una particolare morfologia carsica. La maggior parte delle forme carsiche presenti nella zona studiata si è sviluppata sulla paleosuperficie più bassa e più recente (paleosuperficie di Fontanelle, o paleosuperficie del II° ordine, CENTAMORE & NISIO, 2002a) e la loro evoluzione risulta fortemente condizionata dall'assetto strutturale dei singoli settori (NISIO & ROSSI, 2003). Sul versante nord-occidentale della dorsale M.te Impicciavera-M.te Serrasecca, costituita da una potente successione carbonatica mesozoica, si rinvencono numerose doline in genere allineate lungo il sistema di faglie a direzione NE-SW e localizzate all'intersezione con le dislocazioni NW-SE. La loro tipologia è caratteristica di un carsismo giovane che si è sviluppato in un'area caratterizzata da un notevole tasso di sollevamento recente (NISIO & ROSSI, 2003). All'interno di tale unità è sviluppato anche un carsismo ipogeo evidenziato dalle cavità carsiche presenti all'interno dell'emergenza delle sorgenti del Peschiera.

Sulla sommità della dorsale Montagna dei Cesoni-M.te Paterno-Pratomiccio, dove affiorano le formazioni carbonatiche giurassiche, sono presenti numerose doline, con tipologie pressoché simili e quelle del settore M.te Impicciavera-M.te Serrasecca; anche queste forme si sviluppano all'intersezione delle dislocazioni.

Il versante Paterno-Castel S. Angelo, è caratterizzato invece da cavità carsiche diverse dalle altre per tipologia ed evoluzione. La caratteristica principale di tali forme, interessate tra l'altro da fenomeni di collasso e di crollo, è quella di essere posizionate al contatto calcari-marne al tetto degli *splays* che suddividono in diverse scaglie tettoniche questo settore dell'Unità M.te Nuria. Tra l'altro al contatto calcari-marne dei sovrascorrimenti citati sono localizzate le emergenze di alcune falde sospese, che alimentano locali acquedotti e molto probabilmente, anche il Lago di Paterno.

2.5. - EVOLUZIONE MORFOSTRUTTURALE RECENTE

Nelle fasi precoci dell'evoluzione morfodinamica dell'area (Pliocene medio) si osservano una relativa quiete tettonica, un lento e progressivo sollevamento regionale accompagnato da processi di erosione areale in condizioni climatiche subaride. Si forma così un primo paesaggio dalle forme morbide, con rilievi poco accentuati, di cui rimangono solo alcuni lembi residui (*Superficie som-*

mitale Auct.), e successivamente altre superfici a debole energia del rilievo, incassate nella *Superficie sommitale* e disposte in vari ordini altimetrici (*Superfici relitte*, CENTAMORE & NISIO, 2002a,b; 2003 *cum biblio*). Nella parte media del Villafranchiano inferiore, insieme ad un brusco incremento del sollevamento regionale, si osserva un primo forte impulso della fase estensionale, caratterizzato da faglie con rigetti notevoli, talora superiori ai 200-300 m; a questi si accompagna lo sviluppo di eventi sismici di forte intensità.

La concomitanza di questi fattori favorisce la dislocazione delle *paleosuperfici* e dei primi depositi continentali, l'aumento dei dislivelli tra i versanti e le conche, la messa in posto per gravità di blocchi di notevoli dimensioni e la genesi di grandi volumi di breccie (CENTAMORE & NISIO, 2002a,b, 2003). L'intensa attività tettonica estensionale prosegue anche dopo la messa in posto delle paleofrane e delle breccie, con ulteriori dislocazioni dei depositi dei versanti e delle paleosuperfici.

L'edificio compressivo, la cui costruzione si è completata con la fase del Pliocene inferiore, è stato poi disarticolato per gli effetti dell'azione, spesso concomitante, del sollevamento regionale, della tettonica distensiva e delle variazioni climatiche. Ne risulta un complesso assetto morfostrutturale a blocchi con movimenti verticali differenziati in cui si aprono depressioni tettoniche, come la Piana di S. Vittorino (CIOTOLI *et alii*, 2001; CENTAMORE & NISIO, 2002a,b; 2003).

Le dislocazioni distensive possono essere raggruppate in diversi sistemi principali; esse mostrano una organizzazione azimutale delle strutture concentrata principalmente lungo le direzioni NW-SE e NE-SW, in misura minore NNW-SSE, N-S ed E-W. Queste ultime sono presenti soprattutto nella zona a cavallo della *faglia Fiamignano-Micciani* (figg. 4, 5).

L'evoluzione morfostrutturale recente dell'area è stata notevolmente condizionata dall'attività degli elementi strutturali preesistenti (fig. 8).

Alcune faglie distensive sono sicuramente di neoformazione, ma nella maggior parte dei casi dislocazioni formatesi nelle fasi tettoniche precedenti vengono riattivate in senso normale e transtensivo, spesso con processi di inversione tettonica (CENTAMORE *et alii*, 2002; CENTAMORE & NISIO, 2002a,b; 2003 *cum biblio*). L'esempio più evidente è quello del sistema su cui si è sviluppata la *faglia Fiamignano-Micciani*, che è stato riattivato in più riprese in senso normale o transtensivo nelle fasi tettoniche più recenti (CENTAMORE & NISIO, 2002a,b; 2003 *cum biblio*). Il segmento che attraversa la Piana di S. Vittorino non è facilmente individuabile sul terreno, anche a causa dei continui e radicali interventi antropici, che dalla fine

dell'ottocento hanno modificato drasticamente l'antico paesaggio lacustre, ma sembra coincidere con l'allineamento Micciani - S. Vittorino (FACCENNA *et alii*, 1993; CIOTOLI *et alii*, 2001; CENTAMORE & NISIO, 2002a; BEAUBIEN *et alii*, 2003). Alla tettonica quaternaria è legata la sismicità storica e recente evidenziata da trincee e faglie che dislocano depositi del Pliocene superiore e dell'Olocene (MICHETTI *et alii*, 1994).

2.6. - INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Dal punto di vista idrogeologico la Piana di San Vittorino costituisce il luogo di recapito della circolazione idrica dei versanti limitrofi (BONI *et alii*, 1995, e da DALL'AGLIO & CAMPANILE, 1996, CIOTOLI *et alii*, 1998; 2001, COLOMBI *et alii*, 1999; CAPELLI *et alii*, 2000) e, soprattutto, del sistema idrogeologico dei Monti Giano, Nuria e Velino. In questa zona le sorgenti presenti sono distribuite ai margini settentrionale e meridionale della pianura, hanno un carattere prevalentemente puntuale (con un'unica emergenza) e sono tra loro associate a costituire fronti di deflusso emergenti per trabocco della falda idrica indotto dalla coltre satura dei sedimenti alluvionali (fig. 9). Le portate emergenti sui lati opposti della piana sono molto differenti tra loro: circa 2000 l/s per il bordo settentrionale rispetto ai circa 18000 l/s complessivi di quello meridionale (Sorgenti del Peschiera).

Alcune sorgenti puntuali sono poi presenti anche all'interno della piana con portate modeste (stimate tra 0.1 e 2 l/s), poste in corrispondenza dei *sinkholes*.

La piana alluvionale presenta un reticolo di drenaggio in gran parte riferibile agli interventi di bonifica della fine del secolo scorso e degli inizi di questo secolo, che intercetta frequentemente la falda idrica a causa della ridotta soggiacenza (mediamente tra 1 e 2 m). Questo assetto idrogeologico si completa con i seguenti elementi:

- la presenza dell'alveo pensile del F. Velino, che con le perdite in alveo di circa 1000 l/s medi annui (BONI *et alii*, 1995) introduce uno spartiacque relativo nella falda alluvionale;
- la probabile esistenza di antichi alvei del F. Velino (paleoalvei), specialmente nel settore meridionale della piana, desumibili anche dalla disposizione dei terrazzi fluviali (fig. 4);
- gli acquisti in alveo del F. Peschiera nel tratto compreso tra la Ferrovia e Case Crescenzi, cautelativamente stimati nell'ordine del mc/s.

Le acque emergenti presentano due facies idrogeochimiche:

1. acque bicarbonato calciche, prevalenti sul bordo meridionale della piana, con temperatura all'emergenza compresa tra 9.5° C e 10.5° C, pH compreso tra 7.2 e 7.5 e conducibilità in genere riferibile ad uno spettro di 550 - 610 S/cm;

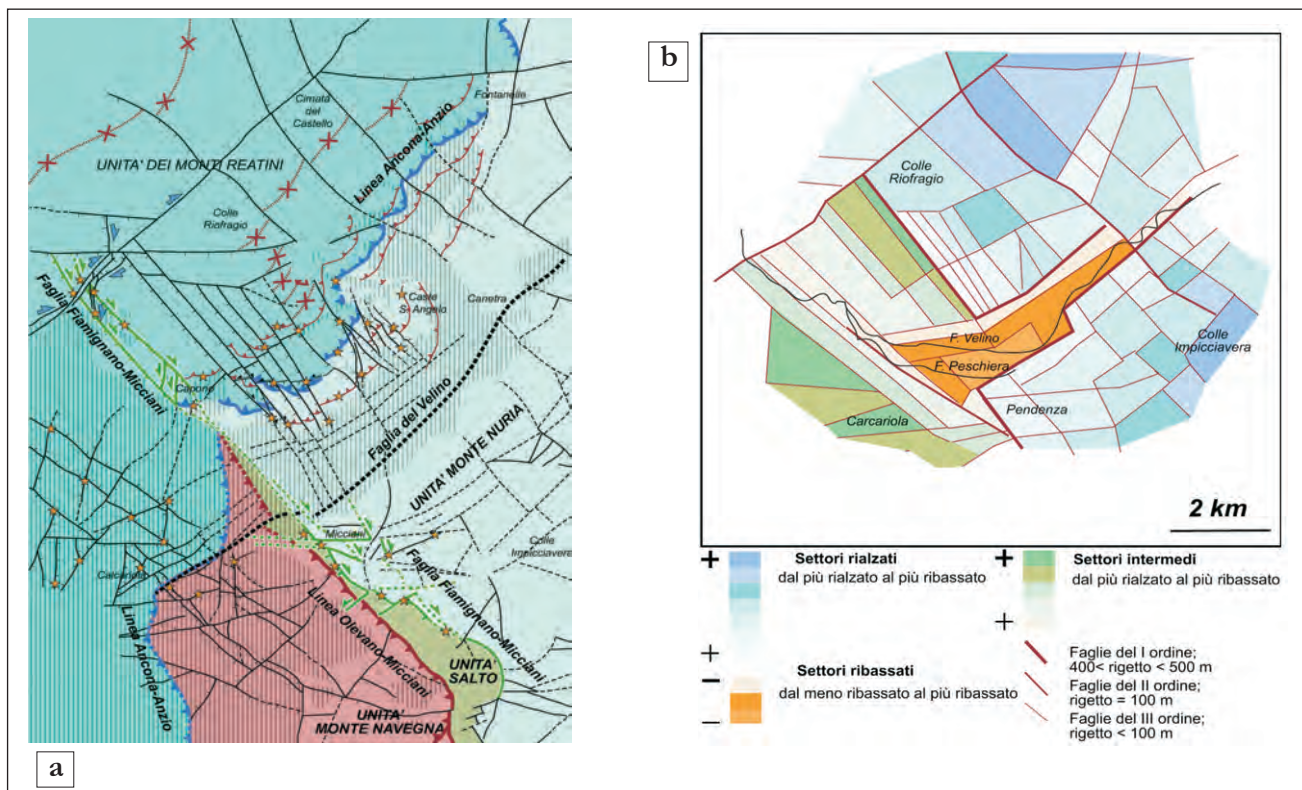


Fig. 8 - a) schema strutturale dell'area studiata, il tratteggio verticale si riferisce alle coperture Plio-Pleistoceniche. Con le stellette gialle sono indicate le stazioni di misura strutturale; b) schema dei blocchi a movimenti verticali differenziati.

- a) tectonic sketch of the studied area, the vertical hatch is referred to Plio-Pleistocene covers. With the yellow stars are indicated the structural stops; b) tectonic blocks sketch.

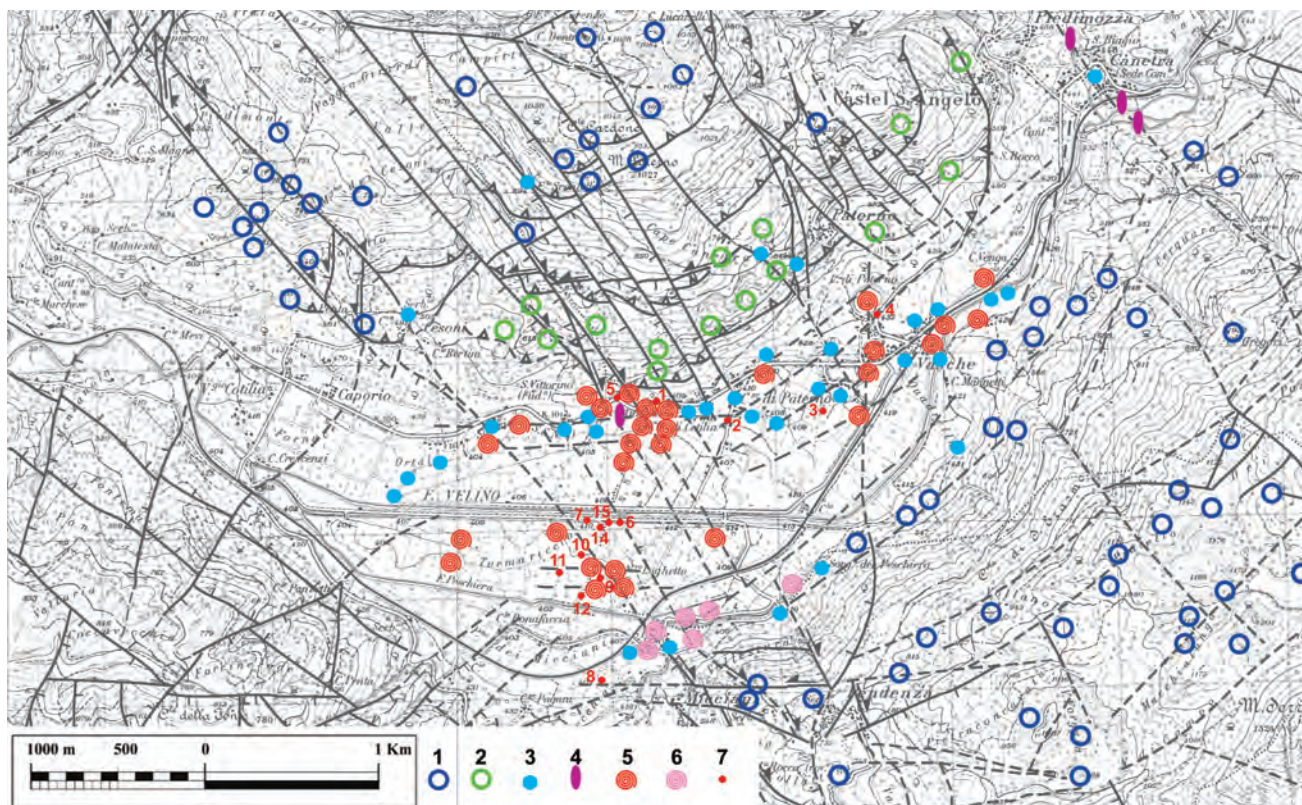


Fig. 9 - Schema della distribuzione delle doline, dei sinkholes e delle sorgenti: 1) doline; 2) doline di crollo; 3) sorgenti; 4) sorgenti solfuree; 5) sinkholes; 6) sinkholes "estinti"; 7) ubicazione dei sondaggi.

- Distribution of the dolines, sinkholes and the springs: 1) dolines; 2) collapse dolines; 3) springs; 4) mineralized springs; 5) sinkholes; 6) filled sinkholes; 7) boreholes locations.

2. acque bicarbonato-solfato-calciche, prevalenti al margine settentrionale ed orientale, con temperatura all'emergenza variabile tra circa 11°C e 16°C (Cotilia), pH compreso tra 6.5 e 8, conducibilità riferibile ad un ampio spettro compreso tra 800 S/cm (S. Erasmo II) e 2700 S/cm (Cotilia).

Come già evidenziato in DALL'AGLIO M. & CAMPANILE R. (1996), mentre il primo gruppo 1) è riferibile agli acquiferi carbonatici di piattaforma, dove gli ioni estranei agli equilibri carbonato – calcici presentano concentrazione da modesta a trascurabile, il secondo gruppo di acque 2) appare espressione di una contaminazione della falda carbonatica da parte di circuiti idrotermali capaci di imprimere un blando termalismo.

L'allineamento delle emergenze solfato – calciche appare condizionato dai sistemi di discontinuità che delimitano la piana. In particolare risultano ben definiti gli allineamenti localizzati per linee parallele al bordo settentrionale della piana (NE-SW), rappresentati dalle emergenze di San Vittorino, Pergine, Cotilia, Vasche, Paterno e i laghetti per sprofondamento presso la via Salaria. Viceversa sono meno evidenti e talvolta incerti quelli trasversali lungo la direzione NW-SE, fatta eccezione per l'associazione dei laghetti antistanti Micciani con la sorgente di San Vittorino.

2.7. - I SINKHOLES DELLA PIANA

La piana di S. Vittorino, (fig. 10) nota sin dall'antichità per le sorgenti di acque minerali, prende il nome da Vittorino martire, vescovo di Amiterno vissuto nel III sec. d.C., appeso a testa in giù nel Lago delle terme di Cotilia ad acque sulfuree, morto dopo tre giorni. A Vittorino sono state dedicate molte altre località del Lazio e dell'Abruzzo dove sono presenti acque sulfuree (fig. 11).

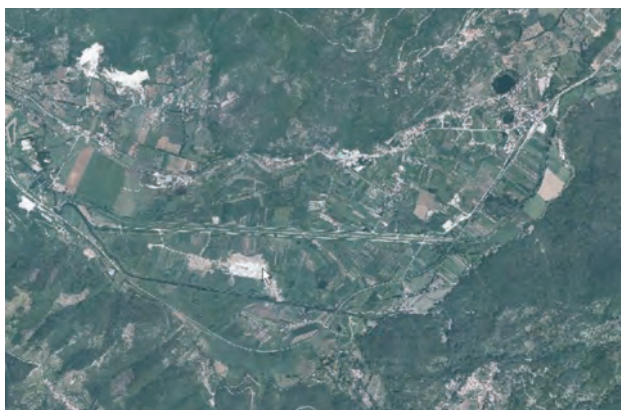


Fig. 10 - Ripresa aerea della Piana di S. Vittorino in cui è possibile individuare i principali laghetti.
- St. Vittorino plain orthophoto. You can see the little ponds.

Le acque minerali della piana sono ricordate da Plinio e da Vitruvio “*acque bituminose e nitrose utili a bersi e per purgarsi*”.

La piana è caratterizzata dalla presenza di almeno 35 cavità sub-circolari, alcune estinte, altre ospitano attualmente *sinkhole ponds* (formatesi con i processi di annegamento NISIO *et alii*, 2004; CARAMANNA *et alii*, 2004), con presenza di sorgenti mineralizzate (figg. 12, 13).

Il primo sprofondamento di cui si ha menzione è quello che riguarda la Chiesa di S. Vittorino (fig. 11) (edificata tra il 1604 e il 1614, sulla facciata della chiesa è riportato l'anno 1613), avvenuto nel 1703, in seguito ad una scossa sismica, che ha dato origine ad una cavità di circa 20 m di diametro e 2 m di profondità. Altri cedimenti avvennero successivamente, coinvolgendo le fondamenta della chiesa, e nel 1787 l'edificio era già sommerso da quattro palmi d'acqua ed alcune polle sorgive erano presenti alla sua base (CARLETTI, 1787) (fig. 10).

Altri 5 sprofondamenti, di cui non si hanno informazioni certe, sono avvenuti nei secoli scorsi (tra il 1700 e il 1850).

I tre laghi più conosciuti dell'area sono: il Lago di Paterno, Lago di Mezzo e Pozzo Burino (denominati dalla popolazione locale *Lago di sopra, di sotto e di mezzo*, figura 14). Sono state condotte ricerche storiche per risalire alla data di formazione di tali laghi.

Il Lago di Paterno denominato anche Pozzo di Rutignano o Latignano, nonché Lago delle terme di Cotilia (*Lacus Cotiliae*), era già presente in epoca pre-romana; al suo interno era presente una isola galleggiante dove si svolgevano cerimonie religiose (MARINELLI, 1995).

Macrobio citando Varrone, scrisse che quando i pelagi giunsero a Cotilia e strinsero la pace con gli aborigeni dedicarono un sacello a *Dis Pater* ed un'ara a Saturno. Inoltre la presenza del Lago di Paterno in epoca pre romana è confermata da ANTINORI (1781-1783) che riporta: “*I pelagi udito l'oracolo partirono per la Saturnia. Giunti presso Cotilia videro l'Isoletta fluttuante nel Lago, e ravvisarono il luogo accennato*”.

Il lago, sacro alla dea Vacuna, era alimentato da una sorgente salutare e al suo interno galleggiava un'isola fluttuante, come ricordano Dionigi di Alicarnasso (I, 18), Microbio (I 7, 28-31) Plinio il Vecchio (NH 11, 209; III 108-109) e Seneca (Nat. Quaest. III XXV, 8-10).

Riguardo il lago, Dionigi di Alicarnasso scrive: “.... a 70 stadi da Rieti, Cotilia, città famosa situata vicino un monte e, non lontano da essa un lago la cui ampiezza è di quattro iugeri, pieno di acqua perenne che sempre si rinnova, di profondità smisurata. Questo per il fatto che ha qualcosa di divino, lo ritengono sacro alla dea



Fig. 11 - La cavità con le sorgenti formatesi all'interno della Chiesa di San Vittorino.
- Sinkhole and the springs inside the St. Vittorino church.

Vittoria e lo mantengono inaccessibile, recingendolo con palizzate affinché nessuno si avvicini alle acque, senonchè, in alcune ricorrenze annuali, durante le quali celebrano riti sacri, salgono sull'isola che è in questo (lago) coloro ai quali è lecito. L'isola ha un diametro di quattro piedi è instabile e si sposta ora qua e ora là, sospinta dal vento. Vi nasce un'erba assai somigliante al butomo (giunco acquatico) ed arbusti non grandi..."



Fig. 12 - Panoramica della Piana, al centro il laghetto Tornariccio.
- St. Vittorino plain view: in the center Tornariccio sinkhole.



Fig. 13 - Panoramica del lago Nuovo e Lago Rotondo.
- Nuovo lake and Rotondo lake view.



Fig. 14 - Panoramica dal Monte Paterno: è possibile vedere l'allineamento di tre laghetti, rispettivamente, il Lago di Paterno, il Lago di Mezzo, il Pozzo Burino.
- View from Mt. Paterno: it is possible to see three lakes: Burino sinkhole; Mezzo lake, Paterno lake.

Nell'isola galleggiante in epoca romana si compivano riti sacrificali agli dei, PALMEGIONE (1932) riporta: *Il rito del sacrificio nell'isoletta natante si compiva in questo modo: in un giorno stabilito veniva ucciso un uomo destinato al sacrificio, gli si tagliava la testa che veniva gettata nell'acqua, in onore di Giove e di Saturno: le interiora venivano invece offerte in olocausto ad Apollo, a mezzo di particolari cerimonie.*

I riti sacrificali cessarono dopo l'interessamento di Ercole che dispose di sostituire le vittime con statue di cera (PERSICETTI, 1893).

La cartografia storica riporta il Lago di Paterno sin dal 1590 (ORTELIUS, 1590).

Il lago è stato ispezionato mediante indagini di geologia subacquea: è profondo 55 m e la cavità, di forma cilindrica (fig. 15), attraversa terreni alluvionali ed orizzonti travertinosi sino ad incontrare le Marne a *Cilindrites* che si rinvenivano alla base. Alla base e a mezza costa lungo il versante setten-

trionale sono state individuate sorgenti di acqua dolce. Il lago di Mezzo sembra avere origine più recente rispetto ai laghi adiacenti, la data di formazione potrebbe essere compresa tra il 1808 e il 1815. Infatti il lago di Mezzo non viene riportato nell'atlante del 1808 (RIZZI & ZANNONE, 1808) (fig. 16), né compare nel disegno del sec. XIX (fig. 17) di una parte della provincia di Rieti lungo il Corso del F. Velino. Una Carta della Sabina del secolo XIX, riporta nella piana il Lago di Paterno ed altri quattro piccoli laghi le cui posizioni non permettono di individuare quella del Lago di Mezzo, che invece compare in una mappa del 1815 (fig. 18).

Il pozzo Burino, definito anche Lago Lordo è invece più antico del Lago di Mezzo e compare nel disegno del sec. XIX e negli Atlanti del 1808; BERSANI & CASTELLANO, 2002) (figg. 16, 17, 18).

Il disegno della piana del F. Velino, del secolo XIX, mostra anche la presenza di altri piccoli laghi, tra cui il Lago Sfondato sulla destra della via Salaria, il Lago del Fiorentino e i Laghi dell'Ara (fig. 17).

Alcuni *sinkholes* sono stati riattivati nei primi decenni di questo secolo (nel 1915 e 1951; RICCARDI, 1951; MORI, 1938; tab. 1) le cavità hanno dimensioni variabili con diametri compresi tra 200 e 15 m (tra cui il Lago di Paterno, il Lago di Mezzo, il Pozzo Burino figura 19, 20, 21) e profondità che variano da un massimo di 45 m a pochi metri (CAPELLI & PETTITA, 1998; CAPELLI *et alii*, 2000).

Nel 1893 si aprirono improvvisamente altre 5 cavità, con diametri da 8 a 100 m, e profondità da 10 a 15 m e tra il 1900 e nel 1903 altre 5 con dimensioni di pochi metri (fig. 22).

Altre attivazioni, neoformazioni o allargamenti sono state osservate in occasioni di sismi

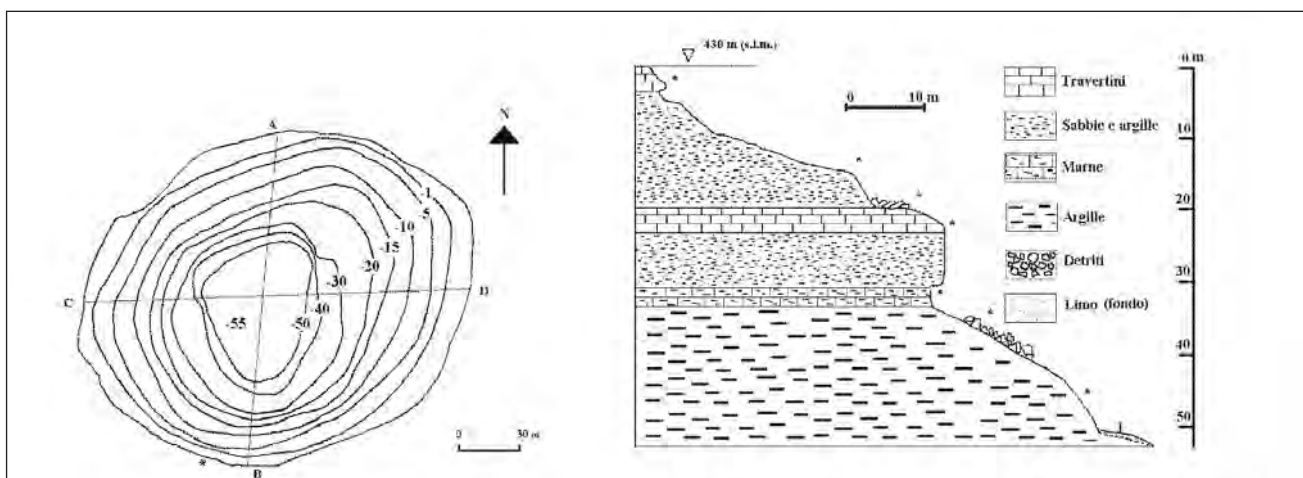


Fig. 15 - Il Lago di Paterno. Batimetria (a sinistra) e ricostruzione stratigrafica della sponda (a destra) effettuata da ricostruzioni subacquee (G. CARAMANNA).
- Paterno lake. Bathymetric reconstruction and stratigraphic reconstruction of the right bank from underwater investigation.

Tab. 1 - *Tabella riassuntiva dei principali parametri chimici delle acque.*
 - Chemical-physical characteristic of the sinkhole water.

TOPONIMO	DATA DI FORMAZIONE	D (m)	P (m)	pH	eH	Cond $\mu\text{S/cm}$	T (°C)
La chiesa di S. Vittorino	1703	20	2	6,65	293	1037	11
Laghetto Pergine	1962	20	3	6,39		882	12,2
Pergine 2	5 luglio 1933	3	3	6,53		887	12,3
Lago terme di Cotilia	Sconosciuta noto dall'epoca pre - romana, collassato ancora nel 1915	50	9	6,06	256	2820	17,1
Lago di Ceciri	Sconosciuta	15	7	6,06	241	2240	17,1
Parcheggio 1	1986?	5	2	6,17	-212	1670	12,9
Lago Piccolo	19/02/1986	5	3	6,57	-50	1313	19,7
Lago Grande	17/02/1986	50	10	6,55	219	1478	20,5
Pozzo	Sconosciuta	4	1	6,13	-268	2400	14,4
Parcheggio 2	Sconosciuta	3	1	6,17	-212	1670	12,9
Pozzo Burino (Lago Lordo)	Sconosciuta (secolare), era presente nel 1808	50	4	7,1	324	637	21
Lago di Paterno	Sconosciuta, presente in epoca pre-romana, ulteriore crollo il 31 gennaio 1915	204	55	7,97	306	787	20
Lago di Mezzo	Sconosciuta dopo il 1808 era presente nel 1815	130	non disponibile	7,03	325	748	10
Linea FF SS	26 dicembre 1902	2	1	ricolmato			
Alveo Velino	31 dicembre 1902	10	sconosciuta	7,65	230	648	
Pozzo Gustavo	gennaio-febbraio 1915	10	4	7,53	324	656	26
Piana S. Vittorino	Paleoforma visibile dalle foto aeree e dall'ortofoto	50	ricolmato	ricolmato			
Laghetto Tornariccio	6/03/1991	32	8,5	6,52	293	1126	20
Laghetto 3	10 settembre 1893	10	ricolmato	ricolmato			
Laghetto 1	12 agosto 1893	10	ricolmato	ricolmato			
Laghetto 2	12 agosto 1893	10	ricolmato	ricolmato			
Lago Rotondo Lago nuovo (Pozzo di Breccia)	27 luglio 1876, riattivato 1893 e 1915, secondo Riccardi il 19 settembre 1891	120	10	6,42		1040	25,4
Tornariccio 2	dopo il 1990	5	sconosciuta	6,07	63	2200	
Nel letto del Fiume ramo sud	25 novembre 1903	5	ricolmato	ricolmato			
Peschiera isolotto	25 novembre 1903	5	ricolmato	ricolmato			
Laghetto Micciani o Pozzo del Casello	22 settembre 1891 (NOLASCO), secondo Riccardi il 27 luglio 1893 dopo un evento alluvionale	50	10	6,42	163	916 1878	15,1
Peschiera ramo nord	25 novembre 1903	8	sconosciuta	ricolmato			
Laghetto Pacitti	sconosciuta	5	2	6,77	262	982	12
Vasche	primi febbraio 1915	n.p.	n.p.				
Sorgenti del Peschiera	primi febbraio 1915	27	4	ricolmato			
S. Erasmo		pochi metri	sconosciuta	5,92	-385	1713	12
Case inac	settembre 1995	3	0,15	ricolmato			
Tornariccio 3	dopo il 1990	10	sconosciuta	6,76	293	1208	
Centro agricolo	Settembre 2003	4	0,5	6,38	79	4500	14



Fig. 16 - Carta storica:
Atlante del 1808: non è
riportato il Lago di Mezzo.
- Historical Map: Atlas of the
1808. This map don't shows
Mezzo lake.



Fig. 17 - Disegno della
piana del Fiume Velino
sec. XIX.
- Velino River plain picture:
XIX century.

(MICHETTI *et alii*, 1994), come avvenne durante il terremoto del 1915, (Pozzo Gustavo, in seguito al terremoto di Avezzano) (CREMA, 1924).

Nel 1986 in occasione di eventi alluvionali si sono aperte tre voragini in località Sciamargutta (NOLASCO, 1986) con diametri da 5 a 60 m e profondità di una decina di metri.

Un altro sprofondamento si è originato nel 1991, e presenta solo pochi metri di diametro (fig. 19).

Nell'agosto del 2002 alcuni sprofondamenti hanno interessato la Via Salaria, presso il Consorzio agrario, i successivi lavori di ripristino colmarono le cavità.

Il *sinkhole* di formazione più recente si è aperto nel settembre del 2003: ha 4 metri di diametro, ospita una piccola pozza d'acqua a 100 m circa dalla Salaria nei pressi del Consorzio agrario (fig. 23).

I *sinkholes* sono concentrati nella zona settentrionale della piana, tra S. Vittorino e Vasche, e sono allineati secondo particolari direzioni: NE-SW tra Vasche e Case Paterno; E-W tra le Terme di Cotilila e S. Vittorino; NW-SE, nella fascia tra le sorgenti del Peschiera-Micciani e Terme di Cotilia S. Vittorino, direzione in parte coincidente con il prolungamento settentrionale della faglia Fiamignano-Micciani (Lago Nuovo e

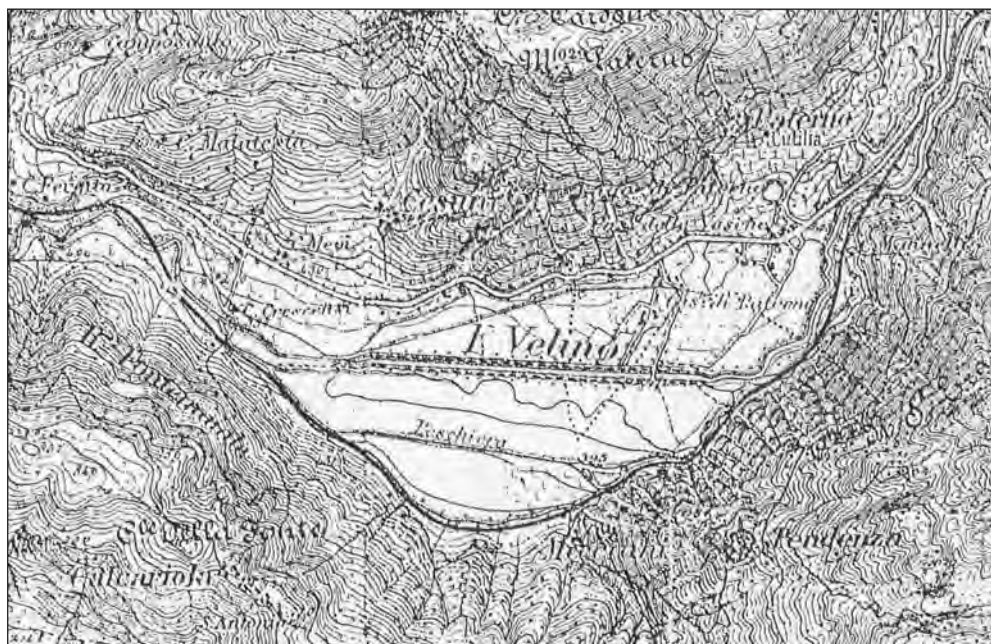


Fig. 18 - Carta storica del 1815.
- Historical map, 1815.

Lago Rotondo, figure 15 e 16), ad Ovest della quale non si evidenziano più i fenomeni di sprofondamento (FACCENNA *et alii*, 1993; NOLASCO, 1998; CENTAMORE *et alii*, 2004; CIOTOLI *et alii*, 1998, CENTAMORE & NISIO, 2002a, b, 2003; NISIO 2003).

Le acque mineralizzate, presenti nelle cavità (fig. 22), sono rappresentate principalmente da acque sulfuree e ferruginose; le emergenze sono concentrate prevalentemente ai piedi del versante di M.te Paterno, tra S. Vittorino e Vasche, ma si rinvenivano localizzate anche in sinistra del F. Velino lungo l'allineamento NW-SE Piedimozza-Cerquara.

In particolare le acque ferruginose emergono in alcuni piccoli laghi a SE di S. Vittorino, lungo l'allineamento corrispondente al prolungamento settentrionale della faglia Fiamignano-Micciani, mentre le sorgenti sulfuree sono allineate con direzioni circa E-W, tra S. Vittorino e Vasche, e NW-SE, tra Pendenza e S. Vittorino e tra Piedimozza e Cerquara, (FACCENNA *et alii*, 1993; NOLASCO, 1998; CIOTOLI *et alii*, 2001; ANNUNZIATELLIS *et alii*, 2004; CENTAMORE *et alii* 2004).

Il lato settentrionale e quello sud-orientale della piana sono caratterizzati inoltre dall'emergenza di alcune sorgenti di acqua dolce.

Le principali informazioni nonché i risultati delle misure dei parametri chimici delle acque sono riportate in tabella 1.

Tra i fattori predisponenti l'insorgere e la propagazione dei *sinkholes* della piana ha sicuramente giocato un ruolo predominante la presenza di linee tettoniche ad attività recente, con sistemi di faglie



Fig. 19 - Laghetto Tornariccio.
- Tornariccio lake view.



Fig. 20 - Pozzo Burino anticamente Lago Lordo perché utilizzato come discarica di immondizie.
- Burino sinkhole; in old time of the lake was "dirty lake" because utilized like discharge.

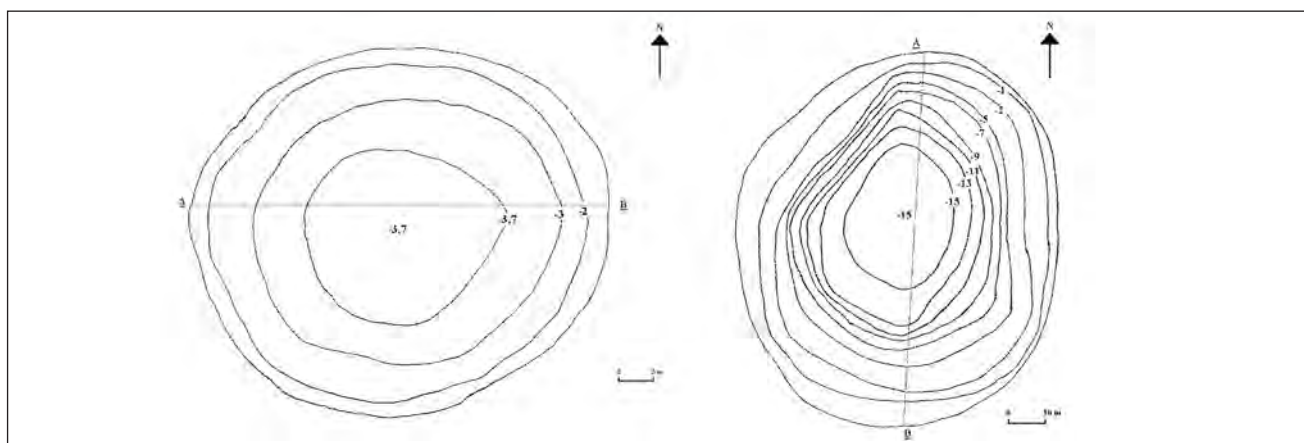


Fig. 21 - Batimetrie rispettivamente del pozzo Burino e Lago di Mezzo (a cura di G. CARAMANNA).
 - *Burino sinkhole and Mezzo lake bathymetries.*



Fig. 22 - Immagini di *sinkholes* nella piana; alcuni dettagli di con acque mineralizzate.
 - *St. Vittorino plain sinkholes: views and details of mineralized waters.*



Fig. 23 - Il *sinkhole* formatosi a Settembre 2003 nei pressi della Salaria (sullo sfondo il Consorzio agrario).
- The last *sinkhole*, formed in September 2005 near Salaria Street (Consorzio agrario).

che si intersecano, nonché il reticolo di fratture, presenti all'interno della copertura quaternaria, che ha determinato comunicazione tra substrato carbonatico e i sedimenti alluvionali-lacustri.

Tra i fattori innescanti i fenomeni invece la connessione con eventi sismici, verificatisi alcuni giorni prima del fenomeno.

Ma la possibile relazione tra eventi sismici e innesco di fenomeni di *sinkholes* è stata più volte invocata in letteratura per molti dei casi noti, ma è sempre mancata una reale verifica da parte degli autori dell'effettiva connessione, dei tempi reali in cui è possibile che vi sia connessione e delle

distanze dall'epicentro alle quali, in relazione all'intensità del sisma, è possibile che vi sia risentimento.

La ricerca svolta sui cataloghi sismici per verificare un effettiva connessione tra terremoti e formazioni delle cavità ha dato i risultati mostrati in tabella 2.

Dalla tabella 2 emerge che per quasi tutti gli sprofondamenti avvenuti nella piana si è registrato qualche tempo prima un terremoto (nell'arco in genere di una ventina di giorni); purtroppo per alcuni sprofondamenti le date di formazione sono incerte. È possibile notare che per intensità

Tab. 2 - *Terremoti verificatisi nell'area e innesco dei fenomeni di sinkholes.*
- Earthquakes and sinkholes times of the primer.

N. di Casi	Data formazione sinkhole	Data terremoto	Epicentro	Distanza	Is all'epicentro	g	Giorni dall'evento sismico
1	14/1/ 1703	14/01/1703 2/02/1703	Norcia L'Aquila	32 km - 21 km	100 90	95	0
2	19-22/settembre 1891	14/07/1891 1/10/1891 9/4/1895	Trevi	50 km	65		66?
2	26/12/1902	17/12/1902	Rieti Castelritaldi	4 km	60 60	60 ?	9
3	25/11/1903	02/11/1903	Rieti - Norcia	56 km	50-60 60-70		23
7	31/01/1915 02/02/1915 03/02/1915	13/01/1915	Avezzano	11 km -57 km	110	75-80	18 - 21
1	05/07/1933	03/07/1933	Lama dei Peligni	55 km	90	?	2
1	1962	25/06/1962 20/10 1962 12/09/1962 14/12/1962	Serravalle Baiano Alvito Alvito	51 km 43 km 100 km 100 km	60 70 55 60	? ? ? ?	?
3	17-19-/02/1986	03/02/1986 07/02/1986	Monti Reatini Monti Reatini	1-2 km	28-30	28-30	10 12
1	30/09/04	27/09/2004 28/09/2004	Monti Reatini Monti Reatini	1-2 km 1-2 km	30	30 30	3 2

macrosismiche al suolo molto elevate 95-110 in genere la risposta è immediata, la cavità si forma nell'arco di un giorno, anche per epicentri distanti tra i 30 e i 50 km. Tuttavia è possibile che si siano formate delle cavità anche in occasione di terremoti strumentali (con intensità di 30).

2.8. - STUDI GEOCHIMICI

Negli ultimi anni la Piana di S. Vittorino è stata oggetto di numerose indagini nell'ambito di collaborazioni di ricerca tra Regione Lazio e Università di Roma "La Sapienza" con l'obiettivo di studiare le relazioni tra assetto tettonico, la presenza di emanazioni di gas anidre, e il chimismo delle abbondanti acque che circolano nella piana. L'obiettivo principale è volto a migliorare le conoscenze sull'origine dei fenomeni di sprofondamento in termini di interazione acqua-gas-roccia, soprattutto ai fini della prevenzione del rischio nella piana, visto il frequente verificarsi di tali fenomeni negli ultimi 20 anni.

A tale scopo sono state condotte alcune indagini i cui risultati, di seguito riassunti, sono stati presentati nel 2004 in occasione del *Workshop* APAT (ANNUNZIATELLIS *et alii* 2004);

- una prospezione di dettaglio dei gas del suolo finalizzata all'individuazione degli elementi tettonici, vie preferenziali di risalita di fluidi (acqua e/o gas), ed alla delimitazione delle aree caratterizzate da concentrazione anomala di gas;
- una prospezione idrogeochimica per la caratterizzazione delle acque superficiali e del sotto-suolo, che ha previsto il campionamento di sorgenti, pozzi e, laddove presente, il prelievo e l'analisi della fase gassosa (libera);

- l'installazione di una stazione di monitoraggio in continuo di parametri geofisici e geochimici in una delle aree evidenziate come potenzialmente a rischio.

Sulla base delle informazioni ottenute da studi idrogeologici precedenti sono stati selezionati e campionati 43 punti d'acqua (fig. 24) a differente tipologia (sorgenti, sorgenti mineralizzate, laghetti di sprofondamento, pozzi) al fine di caratterizzare geochimicamente la circolazione idrica della piana, e di evidenziare eventuali relazioni tra le anomalie di concentrazione di alcuni elementi e la presenza dei fenomeni di sprofondamento. Sui campioni di acqua sono state effettuate le seguenti analisi: misura di parametri chimico-fisici in situ (Eh, pH, temperatura, conducibilità ed ossigeno disciolto) mediante una unità multiparametrica (MultiLine P4, WTW s.r.l.); analisi degli elementi maggiori, anioni (Cl^- , F^- , SO_4^{2-} , NO_3^-) e cationi (Li^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ e Sr^{2+}) mediante un cromatografo ionico CX-500 (Dionex Ltd.).

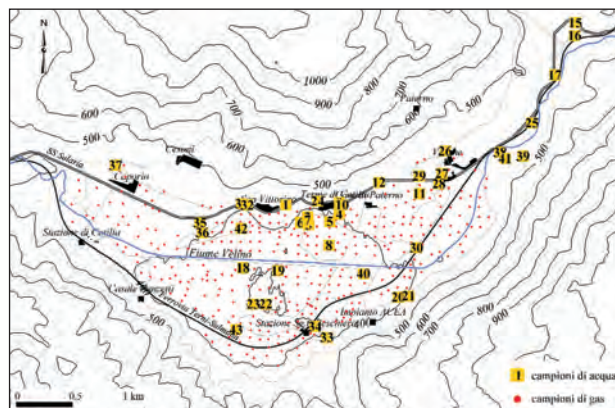


Fig. 24 - Ubicazione dei punti di campionamento relativi alla prospezione di dettaglio dei gas nel suolo (284 campioni con una densità di circa 60 camp/km²) e al campionamento delle acque effettuato nell'ambito della prospezione idrogeochimica (da ANNUNZIATELLIS *et alii*, 2004).

- Location championship points of the soil gas prospection (284 samples with 60 sample/km²) and championship of the hydro geochemical prospection. (From ANNUNZIATELLIS *et alii*, 2004).

La concentrazione dei bicarbonati (HCO_3^-) è stata determinata *in situ* mediante titolazione con il metodo del metil-arancio; *analisi degli elementi in traccia* mediante un'accurata procedura mirata a minimizzare le possibilità di contaminazione del campione. I campioni sono stati prelevati tramite un sistema sotto vuoto per il filtraggio dell'acqua che ha impedito il contatto tra l'acqua e materiali diversi dal FEP teflon (materiale altamente inerte). Gli elementi in traccia sono stati analizzati mediante uno spettrometro di massa al plasma (*Plasma-Quad Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer*, VG Elemental).

2.9. - PROSPEZIONE DEI GAS NEL SUOLO

Nella Piana di San Vittorino è stata condotta una prospezione di dettaglio dei gas del suolo con l'obiettivo di individuare la presenza di elementi tettonici sepolti (*Faglia di Micciani*) al di sotto della coltre alluvionale. Poiché i processi di migrazione dei gas nella crosta avvengono per meccanismi di tipo avvertivo lungo le discontinuità tettoniche, lo studio della distribuzione superficiale di alcune specie di origine endogena (CO_2 , CH_4 , He, Rn) permette sia di individuare le principali vie di risalita (faglie e fratture) sia di approfondire il ruolo svolto dalle discontinuità stesse nel condizionare i fenomeni di interazione acqua-gas-roccia.

La prospezione dei gas del suolo è stata eseguita su un'area di circa 5 kmq (fig. 24) ed ha previsto il prelievo di 284 campioni di gas con una densità di circa 60 camp/kmq; la tabella 3 riporta i principali parametri statistici ed il valore della soglia di anomalia ottenuto dall'analisi dei grafici di probabilità cumulata (GPC). L'elaborazione

geostatistica dei dati ha permesso di elaborare mappe ad isolinee di concentrazione utilizzando il metodo di *kriging* come algoritmo per la stima delle concentrazioni di radon, anidride carbonica, metano e elio nelle zone non coperte dal campionamento (fig. 25).

Nel settore occidentale della piana da Ortali fino all'abitato di Caporio è evidente una diffusa zona di anomalia caratterizzata da valori di radon superiori a 80 Bq/L. In questa zona le indagini geologiche hanno messo in evidenza sia la presenza di un substrato carbonatico più superficiale, sia la presenza di una serie di placche di travertino sede di una intensa circolazione di fluidi che favorisce la mobilitazione di radionuclidi (^{238}U , ^{226}Ra) e, pertanto, di specie gassose a breve vita come il radon. Altre zone caratterizzate da anomalie diffuse di radon sono presenti nell'area dell'abitato di Vasche a nord-est della piana, sempre in corrispondenza di placche di travertino. Nel settore centrale della piana le concentrazioni di radon sono mediamente più basse (40-60 Bq/L) e le anomalie interessano una fascia centrale che va da Micciani-Stazione Sorgenti del Peschiera a sud a Chiesa di S. Vittorino-Terme di Cotilia a nord congruente il prolungamento della faglia di Micciani (CIOTOLI *et alii*, 2001; NOLASCO, 1998) (fig. 25a).

Il comportamento dell'anidride carbonica segue con buona approssimazione quello del radon (fig. 25b). Tale situazione è nota in letteratura poiché l'anidride carbonica, essendo una specie gassosa più abbondante rispetto ai gas in tracce, può costituire una fase propria capace di migrare velocemente verso la superficie agendo come gas di trasporto per le specie in tracce come il radon e l'elio (CIOTOLI *et alii*, 1998;

LOMBARDI *et alii*, 1996). Le concentrazioni di CO_2 più elevate (fino a 50%) sono state riscontrate nell'area delle Terme di Cotilia (a nord) e in località Tornariccio-Piano dei Micciani (a sud).

Come riportato nella tabella anche il metano e l'elio mostrano concentrazioni elevate che, in alcuni casi, sono confrontabili con i valori misurati in aree caratterizzate dalla presenza di giacimenti di idrocarburi, o di aree vulcaniche attive. La presenza di elevate concentrazioni di queste due specie gassose interessa principalmente il settore centrale della piana (fig. 25c, d). In particolare concentrazioni superiori a 10 ppm per il metano e a 150 ppb per l'elio sono localizzate nei pressi delle Terme di Cotilia, a nord, tra la località Tornariccio e la ferrovia Terni-Sulmona verso est, e in corrispondenza delle sorgenti del Peschiera lungo il versante sud orientale della piana.

2.10. - ANALISI DELLA FASE GASSOSA LIBERA E DEI GAS DISCIOLTI

In generale tutti i campioni prelevati mostrano un forte arricchimento in CO_2 , e sono impoveriti in O_2 (tab. 3). I dati relativi alla concentrazione di H_2S sono parziali, sebbene questo gas sia presente nell'area indagata (caratteristico odore di "uova marce") soprattutto nei campioni 6 e 10 caratterizzati da un'abbondante fase gassosa libera. La mappa di distribuzione della CO_2 sia nella fase gassosa libera che disciolta indica che i campioni anomali sono localizzati nell'area delle Terme di Cotilia, mentre campioni caratterizzati da concentrazioni moderatamente elevate di CO_2 sono localizzati verso il centro della piana (fig. 26). La distribuzione di questi campioni è congruente sia

Tab. 3 - *Principali parametri statistici relativi alla prospezione di dettaglio effettuata su tutta la piana di S.Vittorino.*
- Statistic parameter of the details prospection of the St. Vittorino plain.

Gas	N	Media	Mediana	Min	Max	QI	QS	Dev. St.
Rn (Bq/L)	284	15.7	8.88	0.1	95.46	2.96	20.72	18.91
He (ppb)	283	518.06	-48	-1589	80000	-232	0	5521.16
CH_4 (%)	284	183.86	2.06	0.01	19396.14	1.29	2.85	1462.29
Etano (ppm)	284	0.09	0.01	0	13.4	0	0.03	0.81
Propano (ppm)	284	0.64	0.08	0	62.07	0	0.34	4.08
CO_2 (ppm)	284	1.98	0.85	0.04	69.4	0.36	1.85	5.96
O_2 (%)	284	20.74	21.41	3.95	24.76	20.27	22.02	2.44
N_2 (%)	284	76.87	77.58	21.36	87.12	76.19	78.78	5.47

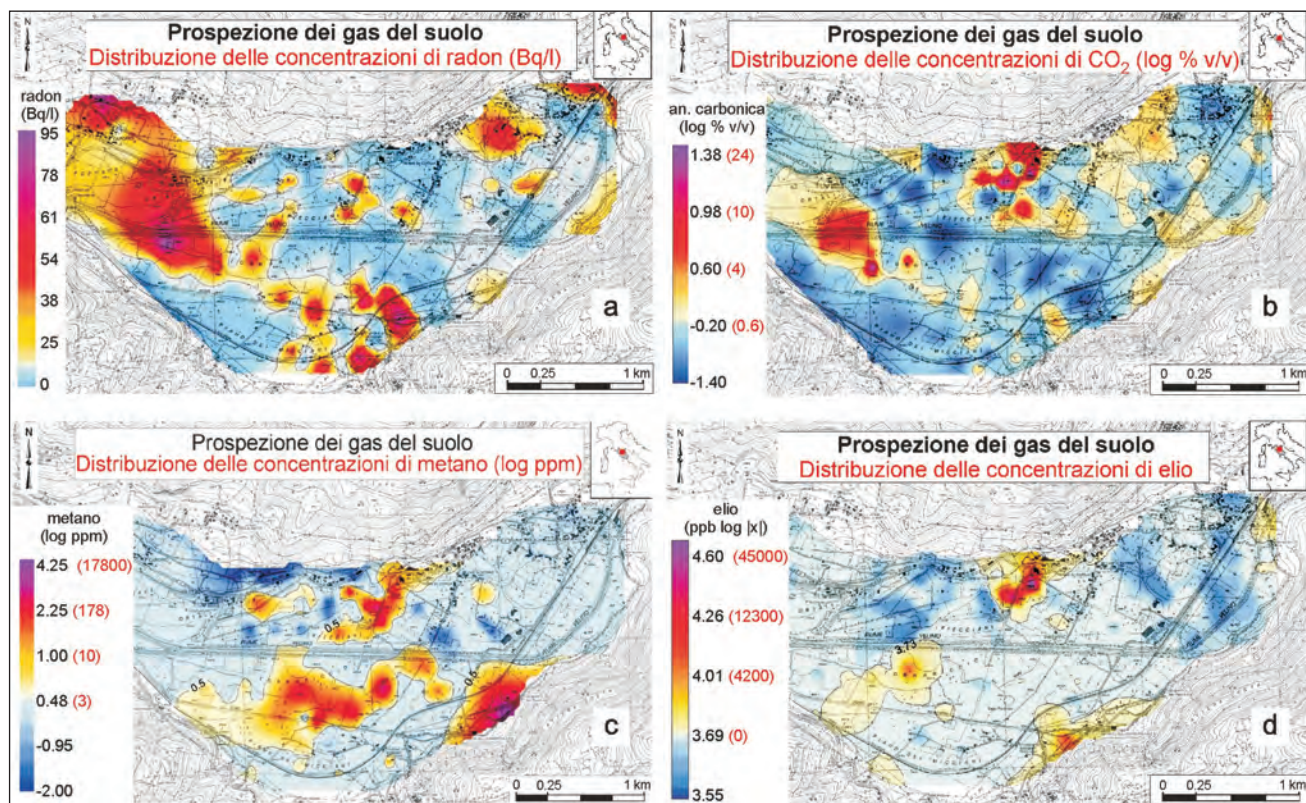


Fig. 25 - Mappe di distribuzione delle concentrazioni nei gas del suolo di ^{222}Rn (a), CO_2 (b), CH_4 (c) e He (d). (Da ANNUNZIATELLIS *et alii*, 2004).
 - Distribution maps of the soil gas concentration: ^{222}Rn (a), CO_2 (b), CH_4 (c) e He (d). (From ANNUNZIATELLIS *et alii*, 2004).

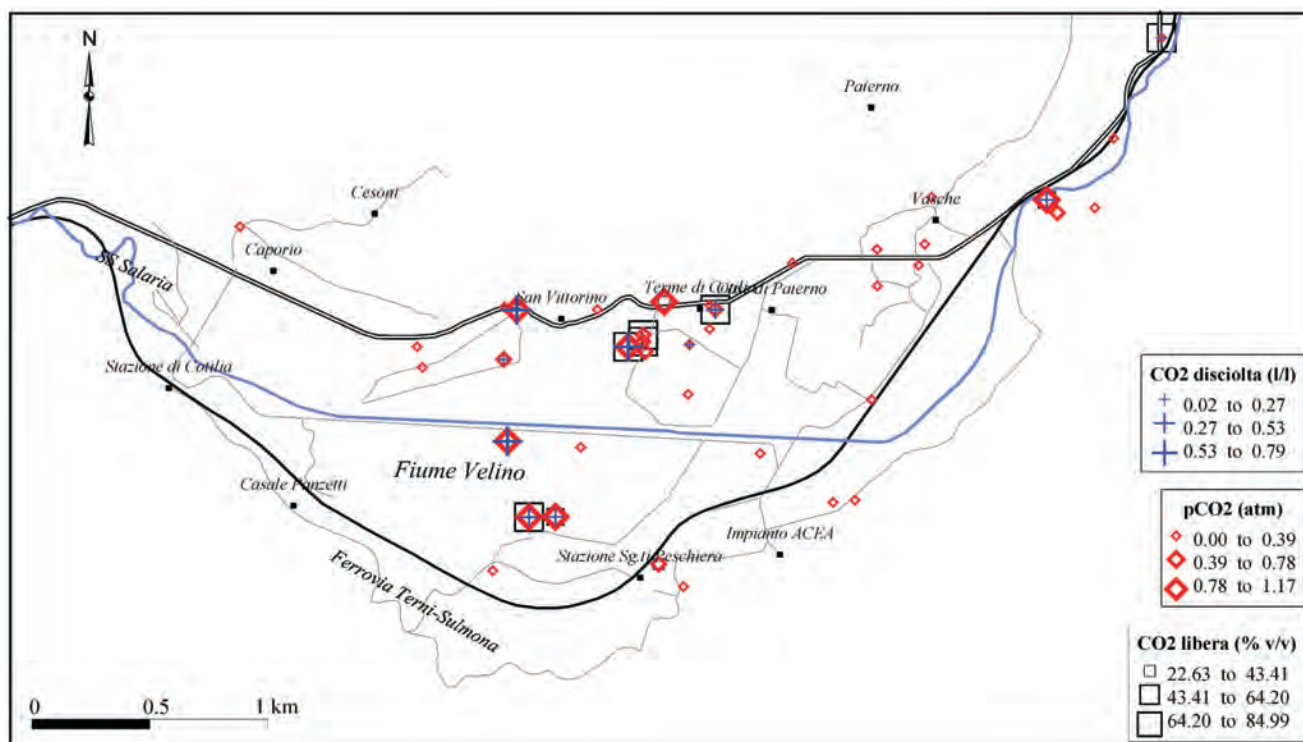


Fig. 26 - Mappa a classi di valori relativa alla distribuzione delle concentrazioni di CO₂ libera nei campioni d'acqua prelevati nella Piana di S. Vittorino. La mappa mostra come le concentrazioni più elevate sono localizzate nella zona centrale presso le Terme di Cotilia, in loc. Tornariccio e presso la chiesa di S. Vittorino. (Da ANNUNZIATELLIS *et alii*, 2004).
 - Distribution of the concentration of the free CO₂ in water sample in the St. Vittorino plain. The main concentration are near Cotilia therm, near Tornariccio localities and near St. Vittorino Church. (From ANNUNZIATELLIS *et alii*, 2004).

con la distribuzione delle anomalie dei gas nel suolo sia con la distribuzione dei campioni d'acqua a chimismo anomalo.

Sebbene l'ipotesi più accreditata sull'origine della CO_2 sia quella della degradazione termica dei carbonati in profondità, esistono altre possibilità che includono un'origine magmatica e/o primordiale. L'associazione delle elevate concentrazioni di CO_2 con elevate concentrazioni di He e di CH_4 , nonché le analisi isotopiche del C, hanno fornito indicazioni più precise sull'origine almeno di parte della CO_2 presente nella piana per la quale non si può escludere un'origine in parte primordiale (magmatica). La correlazione negativa tra He e CO_2 nel grafico di figura 27 gioca a favore di un'origine comune (termometamorfismo?) per la CO_2 , gli idrocarburi gassosi e i solfuri gassosi, mentre tende a confermare l'ipotesi di una sorgente più profonda (primordiale?) per l'elio. La presenza di basse concentrazioni di O_2 ed elevate concentrazioni di N_2 permette, inoltre, di ipotizzare un fenomeno di *mixing* con le acque meteoriche, più esposte alla contaminazione con l'aria atmosferica. Per quanto riguarda il contenuto in H_2S è possibile usare come indicatori i suoi prodotti di ossidazione (COS ed SO_2); infatti tutti i campioni che presentano valori elevati di COS sono localizzati nell'area delle Terme di Cotilia.

La tabella 4 riporta i risultati relativi al contenuto in gas disciolti per 5 campioni di acqua, e il valore della solubilità dei gas a 10° e 20° C. Come si può vedere dalla tabella, le concentrazioni più

elevate di CO_2 sono molto vicine al limite di solubilità del gas indicando che i campioni d'acqua sono saturi in gas.

2.11. - PROSPEZIONE IDROGEOCHIMICA

Sulla base delle informazioni ottenute da studi idrogeologici precedenti sono stati selezionati e campionati 43 punti d'acqua (fig. 24) a differente tipologia (sorgenti, sorgenti mineralizzate, laghetti di sprofondamento, pozzi) al fine sia di caratterizzare geochimicamente la circolazione idrica della piana, sia di evidenziare eventuali relazioni tra le anomalie di concentrazione di alcuni elementi e la presenza dei fenomeni di sprofondamento. Sui campioni di acqua sono state effettuate le seguenti analisi: *misura di parametri chimico-fisici in situ* (eH, pH, temperatura, conducibilità ed ossigeno disciolto) mediante una unità multiparametrica (MultiLine P4, WTW s.r.l.); *analisi degli elementi maggiori*, anioni (Cl^- , F^- , SO_4^{2-} , NO_3^-) e cationi (Li^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ e Sr^{2+}) mediante un cromatografo ionico CX-500 (Dionex Ltd.). La concentrazione dei bicarbonati (HCO_3^-) è stata determinata *in situ* mediante titolazione con il metodo del metil-arancio. Gli elementi in traccia sono stati analizzati mediante uno spettrometro di massa al plasma (*Plasma-Quad Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer*, VG Elemental).

Per brevità sono riportati in tabella 5 solo i dati relativi ai principali parametri statistici delle analisi effettuate. Sulla base della composizione media

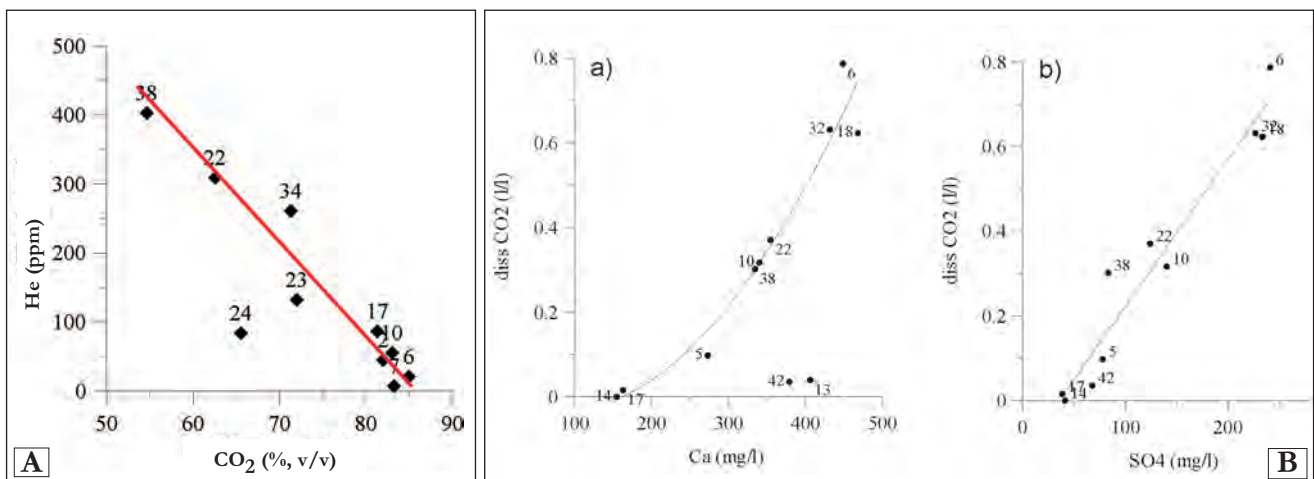


Fig. 27 - A) Grafico a dispersione He- CO_2 nella fase gassosa libera di alcune emergenze. La figura mostra una correlazione inversa (osservabile anche fra He e COS) che permette di ipotizzare una differente sorgente per le due specie gassose; B) Diagrammi Ca- CO_2 disciolta (a) e SO_4 - CO_2 disciolta (b). La figura mostra in generale una buona correlazione diretta di calcio e solfati con l'anidride carbonica disciolta. Tale correlazione indica che le concentrazioni anomale di Ca e SO_4 sono il risultato di un aumento della solubilità dovuto a una diminuzione del pH per la presenza di specie gassose di origine profonda come CO_2 ed H_2S .

- He- CO_2 graphic in the gas phase of the some springs. The picture shows the inverse correlation (also between He and CO_2) that permitted the hypothesis of a different provenience of the two gas species. Ca- CO_2 diagram (a) and SO_4 - CO_2 diagram (b). The picture shows the direct correlation between Ca and SO_4 . This correlation indicate that the anomalies of Ca and SO_4 are increase of solubility and decrease of the pH cause the presence of gas species of deep origin (like CO_2 ed H_2S).

Tab 4 - Composizione delle fase gassosa libera di alcune delle sorgenti campionate. Le specie gassose maggiori (CO_2 , O_2 e N_2) sono espresse in percentuale, le altre in ppm.

- Gas phase in some springs: the main gas species (CO_2 , O_2 and N_2) are expressed in %, the other in ppm. Gas concentration in some samples of the water.

N	CH_4	C_2H_4	C_2H_6	C_3H_8	C_4H_{10}	COS	H_2S	SO_2	He	CO_2	O_2	N_2
6	388	0.00	234	60.6	1.9	1.6	45	0.5	20	85.0	1.0	7.4
10	760	0.35	634	59.0	0.8	1.6	147	0.4	55	83.0	1.3	9.5
22	198	0.22	9	41.0	0.0	0.3	-	0.0	309	62.5	0.9	32.8
23	177	0.02	8	9.0	0.0	0.0	-	0.0	132	72.0	1.4	17.8

N	CH_4	He	CO_2	O_2	N_2
6	8.1E-05	6.5E-06	0.79	0.02	0.08
10	3.3E-06	1.4E-06	0.32	0.04	0.16
18	8.4E-06	7.8E-07	0.62	0.03	0.12
22	1.5E-05	7.7E-06	0.37	0.08	0.30
23	2.1E-06	1.4E-06	0.36	0.05	0.18
solubilità at 10° C	4.3E-02	8.9E-03	1.22	0.04	0.02
solubilità at 20° C	3.4E-02	8.7E-03	0.91	0.03	0.02

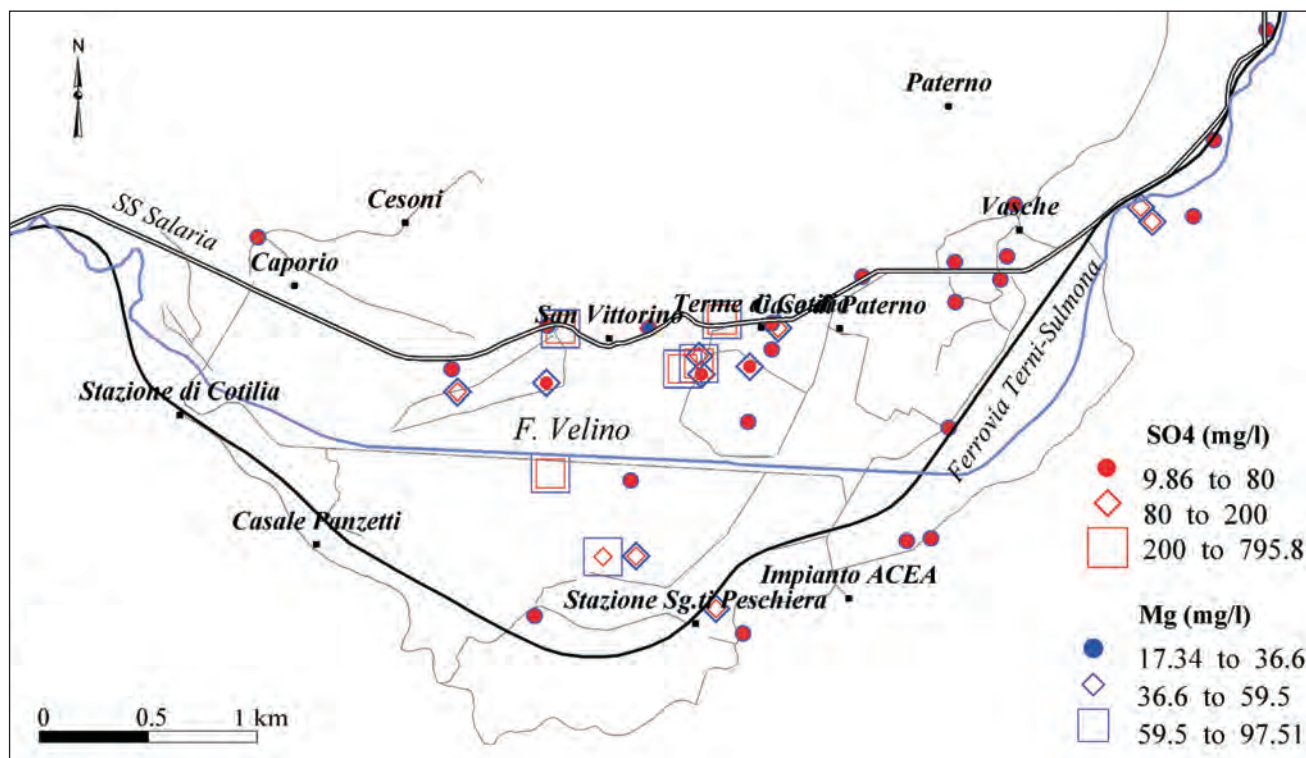
Tab. 5 - Principali parametri statistici delle acque campionate della Piana di S.Vittorino.

- Principal statistic parameter of the St. Vittorino Plain waters.

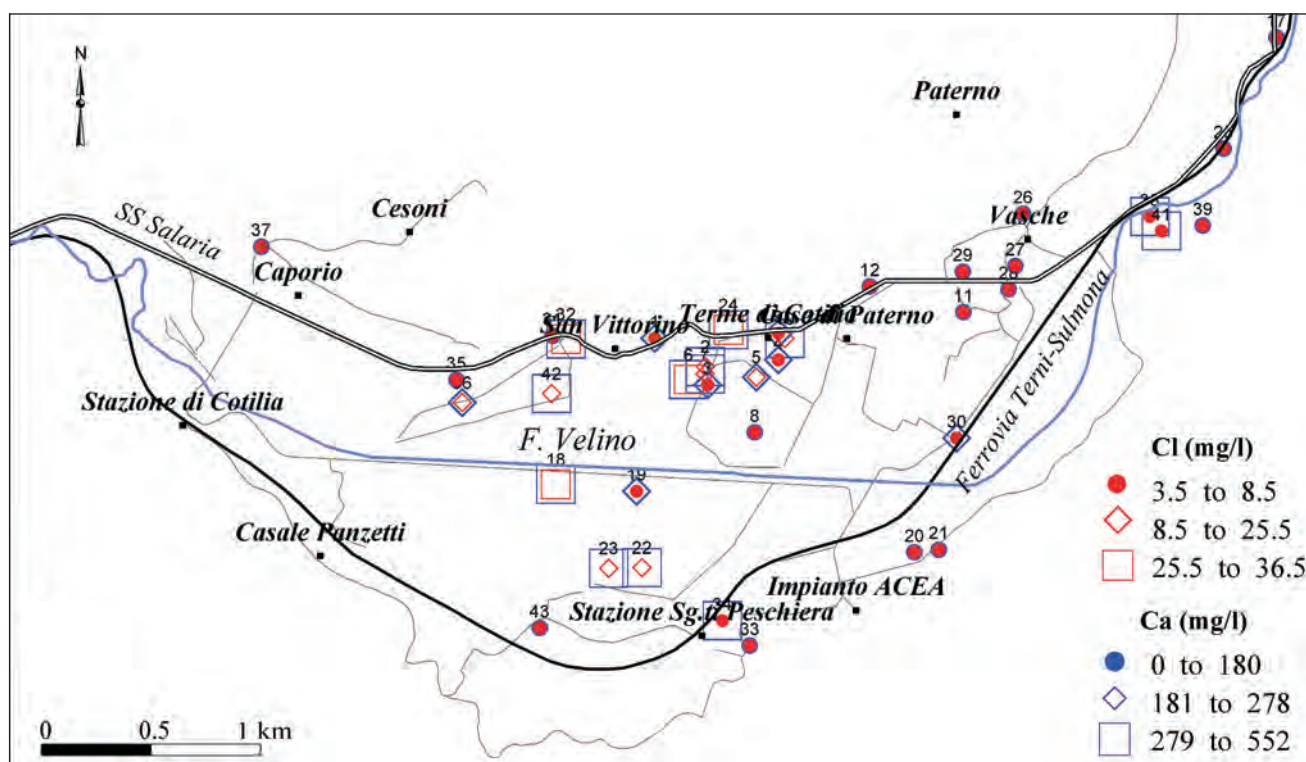
	Id	Min	Max	Media	Dev. St.	Coeff. Dev.	Var%
Misure in situ	pH	6.8	7.97	6.53	6.60	101.07	24
	T(°C)	10.80	21.00	13.31	2.05	15.40	49
	Cond $\mu\text{S}/\text{cm}$	605	2820	1327	576	43	79
	Eh (mV)	-385.00	337.00	108.63	222.12	204.48	214
	O_2 (mg/l)	0.11	13.22	5.01	3.35	66.77	99
Ioni maggiori (mg/l)	Mg^{2+}	17.34	88.50	35.35	18.24	51.61	80
	NO_3^-	0.07	15.66	1.87	2.72	145.47	100
	NH_4^+	0.03	15.23	1.83	4.05	221.31	100
	Cl^-	3.50	36.53	10.35	8.78	84.80	90
	Na^+	2.42	26.52	7.57	6.06	80.09	91
	Li^+	0.00	0.16	0.03	0.04	121.04	100
	SO_4^{2-}	9.86	240.82	76.89	66.46	86.43	96
	K^+	0.06	5.26	1.68	1.11	65.87	99
	HCO_3^-	360.00	2061.80	886.94	427.37	48.19	83
	Ca^{2+}	89.20	551.00	242.47	122.17	50.39	84
Elementi in traccia (ppb)	Rb	0.00	0.02	0.00	0.00	74.08	91
	Sr	0.23	2.90	0.87	0.63	71.94	92
	Ba	0.02	0.22	0.04	0.03	69.10	92
	Pd	0.00	0.01	0.00	0.00	59.49	92
	Zr	0.00	0.00	0.00	0.00	91.17	95
	Br	0.11	0.65	0.26	0.12	45.77	84
	Mo	0.00	0.00	0.00	0.00	57.59	97
	I	0.01	0.64	0.09	0.12	138.15	98
	F	0.05	0.49	0.21	0.10	49.45	90
	B	0.04	1.95	0.40	0.41	100.90	98
	Ni	0.01	0.03	0.01	0.01	44.44	81
	Al	0.00	0.16	0.02	0.03	192.77	99
	Mn	0.00	0.71	0.08	0.17	217.33	100
	V	0.00	0.03	0.00	0.00	191.87	100
	U	0.00	0.00	0.00	0.00	66.69	100

desunta dalla tabella statistica, tutte le acque analizzate sembrano appartenere al gruppo delle bicarbonato-calciche e pertanto potrebbero avere un'origine comune, anche alla luce delle piccole dimensioni e delle caratteristiche geologiche omogenee della piana (figg. 25, 26). Tuttavia, la quantità totale di elementi disciolti mostra un'ampia variabilità evidenziata, ad esempio, dal contenuto in HCO_3^- (da 360 a 2062 mg/l), dalla conduttività (da 605 a 2820 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e dal TDS (da 330 a 1843 mg/l).

Tale variabilità non può essere giustificata dal potere solvente delle acque di infiltrazione, debolmente acide (la concentrazione media di CO_2 nel suolo è di circa 2%), e suggerisce la presenza di un'altra sorgente di acidità, e quindi la probabile presenza di più sottogruppi di acque. I GPC elaborati per alcuni elementi e/o composti (Ca^{2+} , HCO_3^- , Mg^{2+} e K^+) mostrano la presenza di due o tre popolazioni (gruppo di BG, gruppo anomalo e gruppo di transizione; figg. 28, 29) legate a fenomeni differenti, quali l'origine, il miscelamento, e i meccanismi reattivi e di trasporto. Ad esempio, rappresentando sulla topografia dell'area le classi di valori riconosciute per il Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Ca^{2+} e Cl^- (fig. 28) è possibile osservare l'ubicazione dei campioni anomali in cui la concentrazione degli elementi e/o composti è tale da non giustificare un processo di acidificazione delle acque per



a



b

Fig. 28 - Mappa a classi di valori relativa alla distribuzione delle concentrazioni di Mg^{2+} e SO_4^{2-} (a), Ca^{2+} e Cl^- (b) nei campioni d'acqua prelevati nella Piana di S. Vittorino. I simboli nelle mappe sono blu per i cationi e rossi per gli anioni. Le classi di valori sono state selezionate sulla base dei grafici di probabilità cumulata. Per tutte le specie chimiche rappresentate le classi più anomale sono localizzate nel settore centrale e centro-settentrionale della Piana.

- Value classes map of the distribution of the concentration of Mg^{2+} and SO_4^{2-} (a), Ca^{2+} and Cl^- (b) in the spring water of St. Vittorino plain. The symbols bleu are the cations and symbols red are for the anions. The most anomalous chemical species classes are localized in the central and northern-central sectors of the S. Vittorino plain.

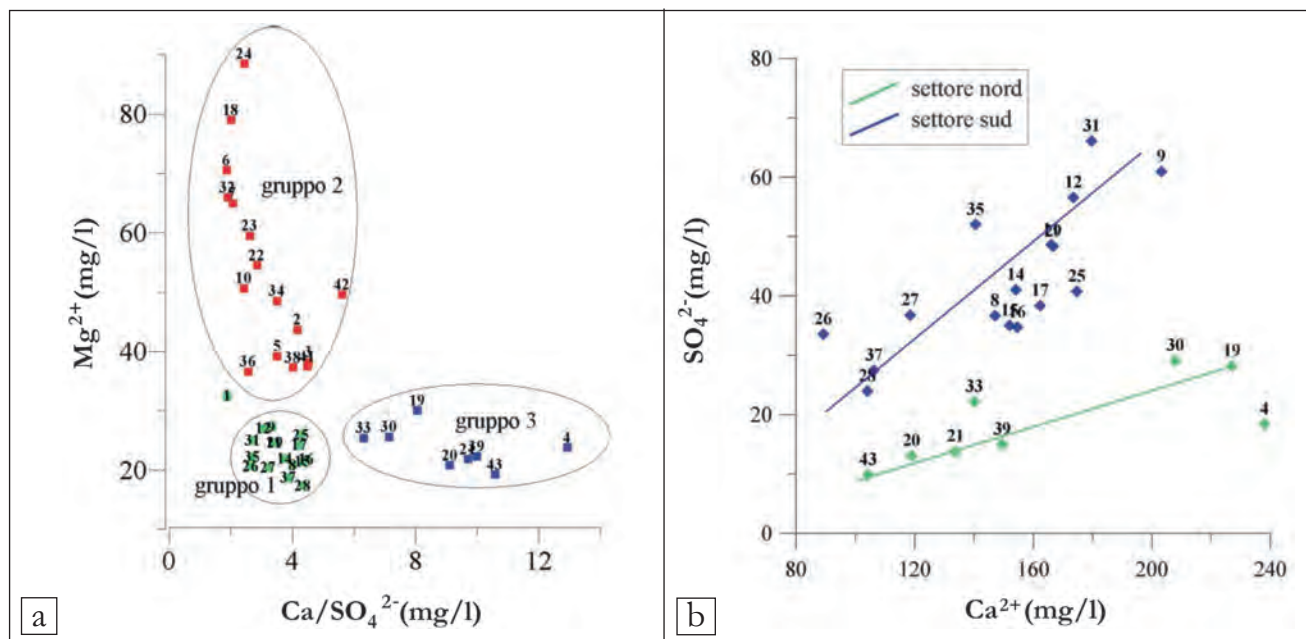


Fig. 29 - a) Diagramma Mg^{2+} vs Ca^{2+}/SO_4^{2-} ; b) Il grafico a dispersione SO_4^{2-} vs Ca^{2+} .
- a) Mg^{2+} vs Ca^{2+}/SO_4^{2-} diagram; b) SO_4^{2-} vs Ca^{2+} . Dispersion graphic representation.

cause biologiche. La figura mette in evidenza come le acque prelevate dalle sorgenti a contatto con i rilievi che circondano la piana appartengono alla stessa popolazione (*background*); al contrario, campioni relativi alle altre popolazioni (campioni anomali e campioni di transizione) sono localizzati principalmente lungo una fascia N-S che attraversa centralmente piana. È interessante notare che tutti i campioni appartenenti al gruppo “anomalo” presentano fenomeni di gorgogliamento con una fase gassosa libera costituita da concentrazioni elevate di CO_2 , CH_4 ed He, e subordinatamente, di etano e propano (tab. 4). In particolare, i campioni 6, 7, 18 e 24, che nei grafici a dispersione appartengono al gruppo più anomalo in assoluto, insieme ai campioni 10, 5, 22 e 23, sono localizzati nella zona a più elevato flusso di gas (fino a 60% di CO_2 , 8000 ppm di CH_4 e 300000 ppb di He nei gas del suolo (figg. 25b, c, d) tra le Terme di Cotilia e Loc. Tornariccio. Appare, pertanto, evidente che le concentrazioni anomale di Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Ca^{2+} (anche K^+ e HCO_3^-) sono il risultato di un aumento del pH originato dalla presenza di specie gassose di origine profonda come CO_2 ed H_2S . Una tale sorgente può considerarsi illimitata, diversa dalla CO_2 presente nei gas del suolo, e come tale permette un continuo apporto di ioni H^+ favorendo la dissoluzione dei minerali carbonatici. In particolare, la buona correlazione tra la CO_2 disciolta e l' SO_4^{2-} rappresenta un'ulteriore indicazione sull'origine dei solfati per ossidazione dell' H_2S trasportato dalla CO_2 , piuttosto

che dalla dissoluzione di gessi. È evidente come tali emergenze siano in contatto con un flusso anomalo di gas la cui migrazione verso la superficie è legata alla presenza di elementi strutturali “profondi”, come testimoniato dalle elevate concentrazioni di He.

Tale ipotesi è supportata anche da un primo tentativo di modellizzazione di speciazione geochemica con PHREEQC dal quale si evince che l'equilibrio con i gessi produrrebbe una variazione del rapporto Ca^{2+}/HCO_3^- .

Tuttavia rimane un gruppo di elementi la cui concentrazione non può essere spiegata dall'aumento locale dell'acidità delle acque; tali elementi includono Cl, Na, Li, Mn, I, Br, F, Al, Rb e lo ione NH_4^+ . In particolare, i diagrammi a dispersione Cl^- vs Ca^{2+} e Na^+/Cl^- vs Cl^- mostrano l'esistenza di due evidenti trends tra i campioni del settore nord/sud ed i campioni anomali, nei quali il valore della concentrazione del Cl è molto lontana da quella prodotta da eventuali impurità delle rocce carbonatiche o da quella presente nell'acqua piovana (fig. 30).

I GPC di Cl, Na presentano una distribuzione abbastanza differente da quella del Ca, ciò potrebbe significare una origine diversa per questi due elementi. Tale osservazione permette di formulare l'ipotesi dell'esistenza di un fenomeno di miscelamento delle acque superficiali carbonatiche con un secondo tipo di acqua (connata, termale o di strato), visti i rapporti elevati Na^+/Cl^- e Cl^-/Br^- nei campioni anomali (0.552 e 283.6 rispettivamente).

Inoltre, anche la presenza di elementi come Br^- , I^- , F^- , NH_4^+ , Mn e Li non consente di scartare l'ipo-tesi di un miscelamento con acque profonde. Comunque, sebbene la sorgente di questa acqua "profonda" sia sconosciuta, la sua risalita verso la superficie è strettamente legata alla presenza di un canale preferenziale costituito da un elemento tettonico importante come la *faglia di Fiamignano-Micciani*.

2.12. - PROSPEZIONI GRAVIMETRICHE

La piana di S. Vittorino è stata oggetto di studi geofisici (CIOTOLI *et alii*, 2000, DI FILIPPO *et alii*, 2004) atti ad individuare le zone suscettibili a sprofondamenti (presenza di cavità nel sottosuolo, liquefazione dei terreni). In quest'area sono state effettuate circa un migliaio di misure.

I valori delle anomalie di Bouguer registrati da tali studi hanno evidenziato un decremento quasi continuo da ovest (-8 mGal) ad est (-19 mGal), con alcune inflessioni delle isoanomalie tra Cittaducale e Calcariola mentre è presente un minimo chiuso (-19 mGal) tra Vasche e Case di Paterno. Il campo regionale, elaborato con il metodo dei minimi quadrati, è stato assimilato ad una superficie piana, che presenta una direzione Nord-Sud immergente ad Est con un gradiente di

1.2 mGal per chilometro.

Il quadro delle anomalie residue è risultato diverso da quello delle anomalie di Bouguer ed ha evidenziato:

a) una zona di massimo orientato NW-SE è ubicata lungo il versante settentrionale del rilievo di Calcariola (+2 mGal) e a Sud di Pendenza (maggiore di +2 mGal); le due culminazioni sono separate da una sella presso Case Penta.

La causa del massimo va imputata alla presenza delle formazioni ceno-mesozoiche (transizione) al disotto di una debole copertura detritica pleistocenica;

b) un'ampia zona di minimo è presente nella parte centro-settentrionale dell'area in esame e comprende la parte centro-orientale della Piana di S. Vittorino ed il rilievo di Monte Paterno. A questo vasto minimo è sovrapposto l'effetto dovuto al bacino di S. Vittorino. La Piana di S. Vittorino si presenta abbastanza uniforme dal punto di vista morfologico, con quote che vanno da 420 m s.l.m. (Vasche) a 400 m poco prima di Cittaducale; al contrario il depocentro di questo bacino fluvio-lacustre, in base ai dati delle anomalie residue, risulta spostato verso Est e precisamente tra Case di Paterno e il Fiume Velino. Non vi sono pozzi che raggiungono la base dei sedimenti fluvio-lacustri,

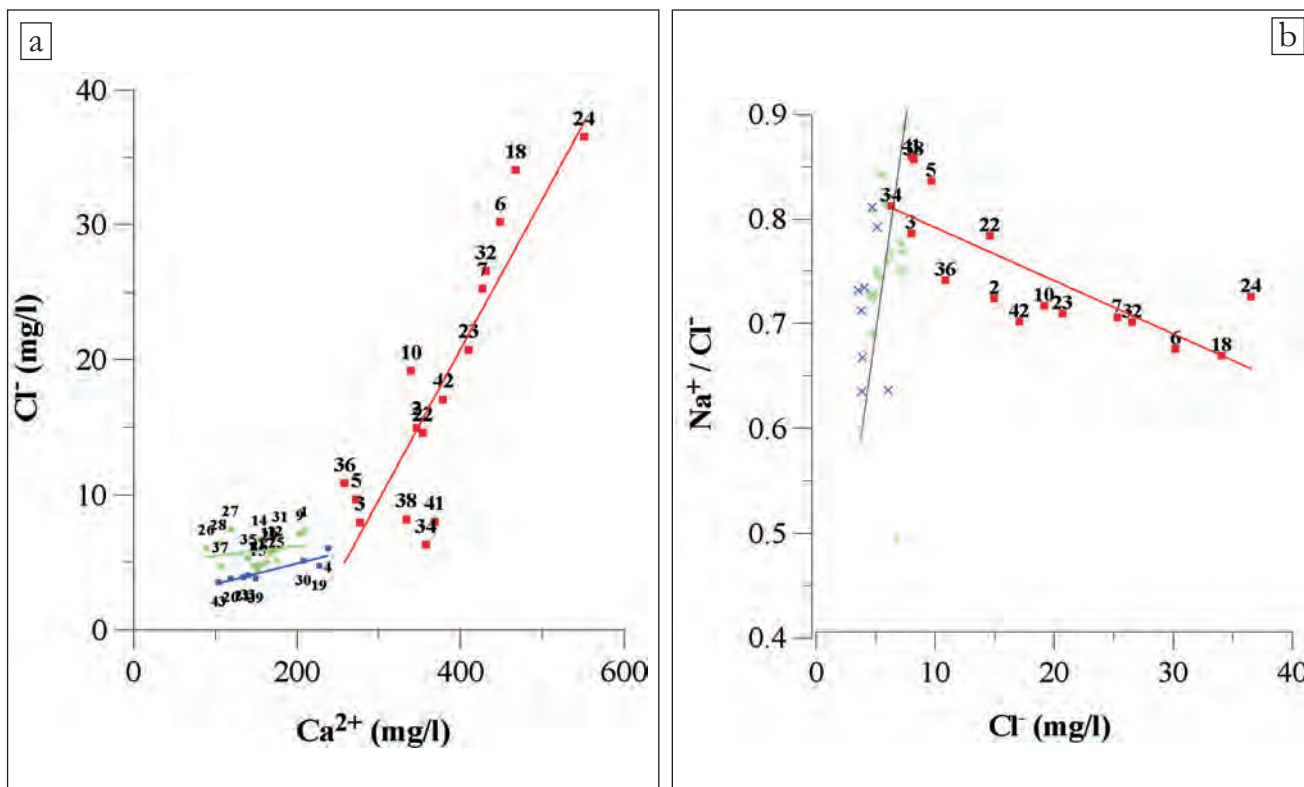


Fig. 30 - a) Diagramma a dispersione $\text{Cl}^-_{\text{vs}} \text{Ca}^{2+}$; b) $\text{Na}^+ / \text{Cl}^-_{\text{vs}} \text{Cl}^-$.

- a) Diagramma a dispersione $\text{Cl}^-_{\text{vs}} \text{Ca}^{2+}$; b) $\text{Na}^+ / \text{Cl}^-_{\text{vs}} \text{Cl}^-$.

mentre alcune informazioni acquisite da SEV e dalla modellizzazione gravimetrica fanno ipotizzare una profondità dal piano campagna del *bedrock* ceno-mesozoico di circa 180 metri per la stessa area; mentre nella parte tra Caporio e Cittaducale, lo spessore dei sedimenti fluvio-lacustri è invece minimo;

c) una zona di minimo (+2 mGal) è ubicata sull'abitato di Cittaducale, dove affiorano sedimenti fluvio-lacustri.

2.13. - ANALISI E CONSIDERAZIONI

Dai dati sopra esposti emergono alcuni importanti elementi di discussione che permettono di individuare le relazioni esistenti tra il contesto geologico s.l. e la genesi degli sprofondamenti.

L'attuale assetto morfo-strutturale a blocchi con movimenti verticali differenziali, tra i quali si apre la Conca di S. Vittorino, è stato notevolmente condizionato dalla presenza di elementi strutturali formati durante le fasi tettoniche precedenti, e riattivatisi più volte, anche con processi di inversione tettonica.

La conca di S. Vittorino ha assunto la sua particolare geometria per gli effetti di una fase tettonica con caratteri trasversali, principalmente destri, che si è sviluppata dopo il Pleistocene medio.

La *faglia Fiamignano-Micciani*, la *faglia Mozza-Cerquara* e la *faglia del Velino* (fig. 8) suddividono l'area in esame in blocchi con caratteristiche litologiche, strutturali e idrogeologiche differenti.

In questo contesto geologico-strutturale il blocco sudoccidentale, corrispondente alla dorsale di Calcariola, delimitata a NE dalla *faglia Fiamignano-Micciani*, è costituito, al di sotto dei depositi villafranchiani del Bacino di Rieti, dall'appilamento di tre unità tettoniche (*Unità dei M. ti Reatini*, *l'Unità M. te Navegna* e *l'Unità Salto*) localmente composte per la gran parte da depositi a bassa permeabilità (*scaglia cinerea*, *formazione Guadagnolo*, *unità argilloso-marnosa* e *torbiditi silicoclastiche messiniane*). Il blocco in questione esercita perciò una funzione di "tampone" per la circolazione dei fluidi, e non presenta tracce evidenti di un significativo carsismo.

Il blocco sudorientale (dorsale M. te Impicciavera-M. te Serrasecca), formato da una potente successione carbonatica ad alta permeabilità, è caratterizzato dalla presenza di una falda regionale, le cui emergenze principali sono localizzate nelle sorgenti del Peschiera (fig. 9).

L'estremo blocco nordoccidentale (Montagna dei Cesoni-M. te Paterno) rappresenta invece un elemento molto articolato sia dal punto di vista strutturale sia da quello idrogeologico. La *scaglia tettonica superiore dell'Unità dei M. ti Reatini*, costi-

tuita in gran parte dalla successione carbonatica triassico-giurassica umbro-marchigiano-sabina, disposta in una blanda sinclinale, rappresenta un buon acquifero tamponato alla base dall'acquicludale della *scaglia cinerea* che viene drenato in gran parte al di fuori dell'area studiata. Il sottostante settore di *M. te Paterno*, suddiviso al suo interno da una serie di sovrascorrimenti minori, al cui letto sono presenti depositi argilloso-marnosi a bassa o nulla permeabilità, rappresenta un sistema idrogeologico complesso, costituito da una serie di acquiferi, delimitati a letto e a tetto da livelli impermeabili. Il più importante di questi livelli rappresentato dalle torbiditi silicoclastiche localizzate alla base del sovrascorrimento inferiore e di notevole spessore; tale orizzonte potrebbe perciò assumere un ruolo significativo nell'intero contesto idrogeologico dell'area studiata. Lungo il versante questi acquiferi alimentano piccole sorgenti localizzate all'emergenza dei piani di sovrascorrimento, mentre nei settori ribassati nella conca di S. Vittorino ricoperti da depositi alluvionali recenti, costituiscono il recapito delle falde confinate a pressione (fig. 9). Le acque mineralizzate, i gas e le anomalie di elio e di radon sono concentrati principalmente nell'estremo settore settentrionale della piana tra S. Vittorino e Vasche, e lungo gli allineamenti Mozza-Cerquara e S. Vittorino-Micciani (CIOTOLI *et alii*, 2001; CENTAMORE & NISIO, 2002a *cum biblio*) (fig. 24).

- Le acque mineralizzate, i gas, le anomalie di radon ed elio sembrano collegati con un circuito termominerale profondo che è messo in comunicazione con la superficie tramite gli elementi tettonici più profondi, quali la *faglia Fiamignano-Micciani*. Questi fluidi termominerali, caratterizzati dall'associazione di H₂S, CO₂ e radon ed elio, possono essere legati alla fase tardiva di un magmatismo locale, tra l'altro evidenziato dal vicino affioramento lavico di Cupaello, oppure possono far parte di acque fossili, legate alla presenza di idrocarburi, che risalgono in superficie attraverso le faglie profonde.

- I depositi continentali che colmano la conca in esame, presentano rapide e continue variazioni latero-verticali di facies; i depositi travertinosi sono alquanto discontinui e non sempre sono presenti in tutte le successioni. Nell'insieme tali depositi costituiscono un complesso idrogeologico a bassa permeabilità e sede di falde minori.

- Al bordo del versante settentrionale e del versante sud-orientale sono localizzate le emergenze di sorgenti di acqua dolce, che appartengono a sistemi idrogeologici diversi. Le portate delle sorgenti ubicate lungo il bordo settentrionale della conca, che fanno parte del complesso sistema idrogeologico di M. te Paterno presentano portate di

circa 2000 l/s, mentre quelle presenti sul bordo sud-orientale, cui appartengono le importanti sorgenti del Peschiera, e che rappresentano l'emergenza di una importante falda regionale del sistema carbonatico M.te Giano-M.te Nuria-M.te Velino, raggiungono i 18.000 l/s (BONI *et alii*, 1995).

- Si osserva un confinamento tra le due principali facies idrogeochimiche, quelle bicarbonato-solfato-calciche, prevalenti sul margine settentrionale. Inoltre si rileva un *mixing* particolarmente sviluppato nel settore settentrionale, quasi assente in quello meridionale con una riduzione del *mixing* stesso lungo le principali dislocazioni appenniniche (CIOTOLI *et alii*, 2001).

Gli improvvisi collassi catastrofici sono in genere associati ad anomalie dei fluidi e dei gas lungo le principali dislocazioni e sono talora accompagnati da boati e tremori.

In conclusione analizzando i dati sopra esposti si possono trarre alcune considerazioni sulla genesi dei *sinkholes* presenti nella Piana di San Vittorino e sul controllo esercitato dal contesto geologico-strutturale nell'evoluzione di questi fenomeni di sprofondamento (fig. 31).

Dalla distribuzione dei *sinkholes*, delle acque mineralizzate, e dall'andamento delle anomalie dei gas sembra evidente che i *sinkholes* si siano sviluppati in un'area localizzata sul settore sprofondato del blocco di M.te Paterno.

Infatti le caratteristiche geologico-strutturali e idrogeologiche di questo blocco, dall'assetto piuttosto complesso, sembrerebbero favorire la formazione e la localizzazione dei collassi catastrofici.

a) Il settore in esame, come descritto in precedenza, è caratterizzato da un substrato carbonatico carsificato, strutturato da una serie di sovrascorrimenti, alla cui base sono presenti depositi argilloso-marnosi o torbiditi silicoclastiche, e dislocato da vari sistemi di faglie.

b) Gli acquiferi delimitati a tetto e a letto da depositi a bassa permeabilità favoriscono la formazione di falde confinate in pressione.

c) La presenza alla base del sovrascorrimento inferiore di un potente orizzonte silicoclastico, che rappresenta l'*acquiclude* più importante del blocco, isola dal contesto geologico generale il blocco stesso. Probabilmente a questo potente *acquiclude* è legato il relativo confinamento tra le

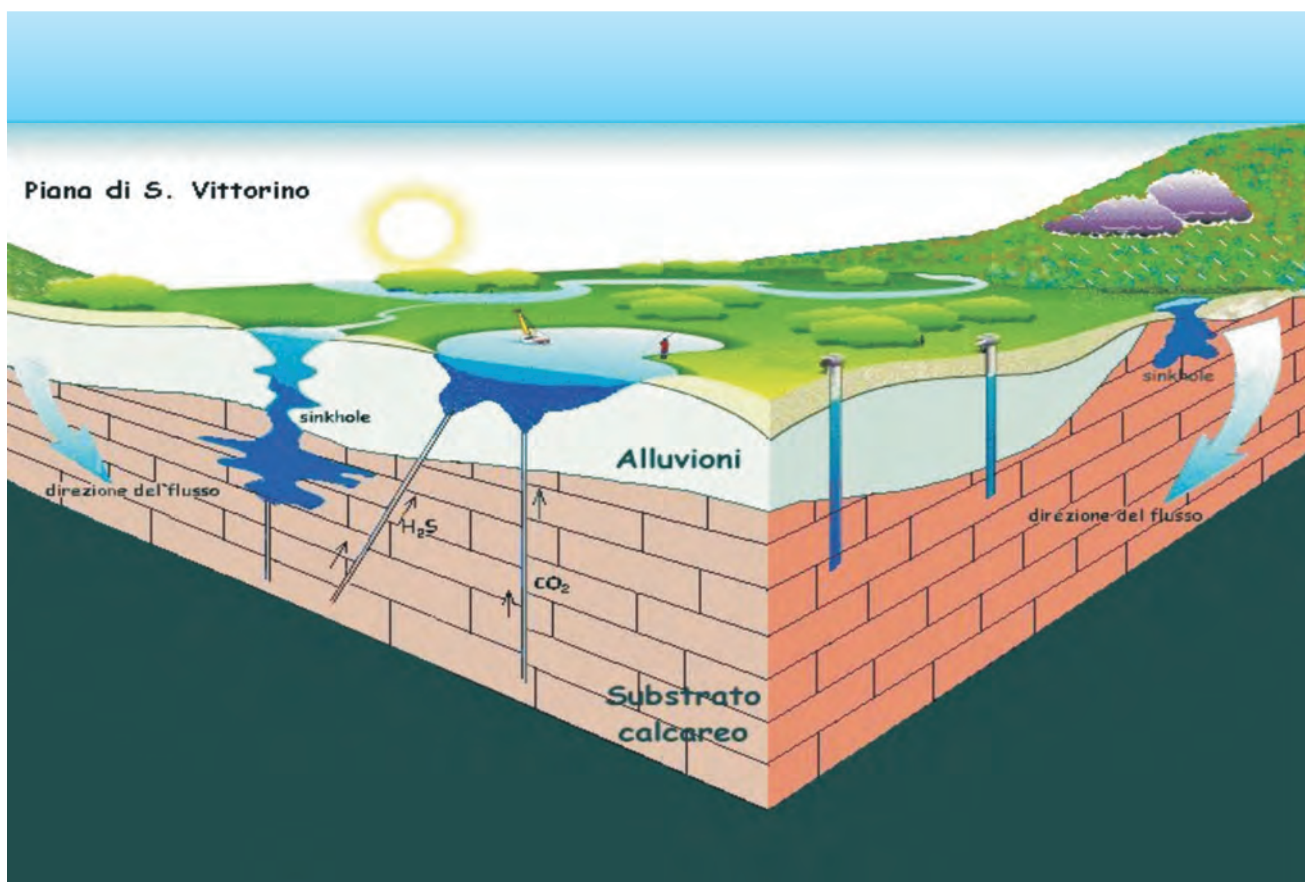


Fig. 31 - Situazione idrogeologica al di sotto della piana di S. Vittorino (da NISIO, 2003).
- Hydrogeological situation in the St. Vittorino plain (from NISIO, 2003).

acque dolci del settore settentrionale e quelle del settore meridionale, il controllo della risalita delle acque del circuito termominerale profondo verso il settore settentrionale e il ridotto *mixing* tra il settore settentrionale e quello meridionale.

d) La presenza, al di sopra del blocco in esame, di una potente copertura continentale, caratterizzata da una notevole eterogenità dei depositi e dalla presenza discontinua di livelli travertinosi. Tale copertura costituisce un complesso a bassa permeabilità in cui hanno sede falde minori.

Le cause principali degli sprofondamenti vanno ricercate principalmente nei processi di *soffusione* profonda (*deep piping*), che si sviluppano per la risalita delle acque attraverso le faglie e le fratture che dislocano il substrato carbonatico, provocando la mobilitazione e l'erosione dal basso (*piping*) dei depositi continentali sovrastanti, cui si aggiungono gli effetti dei processi di dissoluzione legati alla risalita di H_2S e CO_2 attraverso le stesse dislocazioni (NISIO, 2003).

Tali processi subirebbero degli incrementi rilevanti in occasione di eventi sismici o di eventi meteorici di notevole intensità, a causa delle variazioni di pressione nelle falde confinate nel substrato carbonatico. Sembra del tutto irrilevante invece il ruolo dei travertini, alla cui dissoluzione molti Autori fanno risalire l'innescio degli sprofondamenti. Tra l'altro questi depositi sono molto discontinui e in alcune aree del tutto assenti.

Per quanto riguarda la mancanza di fenomeni di sprofondamento recenti nel settore sud-orientale della piana e la quasi totale assenza in quello localizzato a SW dell'allineamento Micciani-S. Vittorino (prolungamento della *faglia Fiamignano-Micciani*) le cause vanno ricercate nel contesto geologico-strutturale e idrogeologico di questi due settori, molto diverso da quello desunto per il blocco di M.te Paterno.

Nell'estremo settore sud-orientale della piana non si individuano fenomeni di sprofondamento recenti od attuali, ne sono state segnalate delle forme riferibili a tali fenomeni, ormai riempite da materiali franati e livellati da pratiche antropiche. Le tracce di tali sprofondamenti sarebbero localizzate lungo l'allineamento della *faglia bordiera* del blocco di Pendenza, lungo la quale si sarebbe verificato lo sprofondamento verso la conca di un settore della dorsale di M.te Nuria. Quest'ultimo fa parte di un grande acquifero, recapito di una grande falda di base regionale. Nel settore ribassato, tale falda rimane confinata tra i livelli a bassa permeabilità del settore a SW della *faglia Fiamignano-Micciani* e dei soprastanti depositi quaternari, mentre più a N tale blocco viene a contatto con il complesso sistema idrografico del settore ribassato di M.te Paterno. In questo quadro i fenomeni di *piping* si

sarebbero sviluppati, con meno efficacia, essenzialmente lungo la *faglia bordiera* anzidetta, mentre all'interno della dorsale gli effetti delle crisi sismiche e degli eventi meteorici estremi si esplicherebbero solamente tramite fluttuazioni del livello della falda libera, cui sarebbero legate le variazioni delle portate all'emergenza delle sorgenti e modificazioni della morfologia carsica ipogea.

Nel settore a SW della *faglia Fiamignano-Micciani* dove è localizzato un articolato complesso idrogeologico a bassa permeabilità e poco o nulla carsificato, i processi di sprofondamento non si sviluppano, poichè mancano i requisiti necessari per l'innescio di tali fenomeni.

Il quadro sopra esposto sembra del tutto compatibile con il contesto geologico ricavato dai recenti rilevamenti di superficie. La mancanza di sondaggi profondi non permette purtroppo di delineare con esattezza la profondità del substrato carbonatico ed in particolare il limite tra il blocco di M.te Nuria e quello di M.te Paterno, che presentano caratteristiche idrogeologiche molto diverse.

Per quanto riguarda l'origine delle emergenze nella piana S. Vittorino, appare probabile che le acque del sottosuolo (sorgenti) e quelle superficiali (*sinkholes*) abbiano caratteristiche idrochimiche e fisico-chimiche simili tra loro e simili a quelle dell'acquifero regionale presente nei rilievi carbonatici. Alcune piccole differenze possono essere attribuite a fenomeni di *mixing* con l'acquifero superficiale e/o ai tempi di residenza nel sottosuolo. Al contrario, le principali variazioni composizionali sono dovute alla presenza nel settore centro-settentrionale dell'area di un flusso anormale di gas, di probabile origine profonda, arricchito in CO_2 , che rende le acque superficiali aggressive nei confronti delle rocce carbonatiche. Da ciò deriva una distribuzione delle acque del sottosuolo in due (forse tre) facies idrogeochimiche, quella bicarbonato-solfato-calciche, prevalente sul margine settentrionale, e quella bicarbonato-calcica, maggiormente rappresentata nell'area sud-orientale. La presenza di differenti facies idrochimiche, e il *mixing* ridotto, potrebbero essere messi in relazione con una sorta di tamponamento da parte dei depositi lacustri che colmano la conca. Inoltre, i dati geochimici convergono con le informazioni ottenute da indagini geofisiche precedenti (microgravimetria e tomografia elettrica) che hanno rilevato nella zona a sud delle Terme di Cotilia un deficit di massa e un'alta resistività. Le elevate concentrazioni di gas (anche nella zona non satura) osservate in corrispondenza dei minimi gravimetrici, evidenziano zone in cui la risalita di fluidi profondi ed aggressivi potrebbe alterare la matrice carbonatica dei sedimenti superficiali diminuendone la densità per

aumento della porosità efficace. In queste zone la presenza di placche di travertino carsificate potrebbe accelerare tale fenomeno provocando il collasso della coltre sedimentaria, e la conseguente formazione dei tipici laghetti.

Ai fini dello studio della tipologia degli sprofondamenti presenti nella piana le indagini geomorfologiche e geochimiche hanno messo in evidenza la presenza di:

- forme senili (Laghi di Paterno) o poco attive (Lago Rotondo) ubicate prevalentemente nel settore orientale della piana, e caratterizzate da dimensioni maggiori, assenza di una fase gassosa libera e da un $\text{pH} > 7.5$ (condizioni riscontrate anche in altre aree, quali ad esempio la zona di Capena (RM);
- forme recenti, di dimensioni ridotte (2-5m), ubicate nel settore centrale della Piana e caratterizzate dalla presenza di una forte componente gassosa, libera e disciolta, (arricchita in CO_2) e un pH compreso tra 6.5-6.8.

La causa di tale differenziazione (presenza di forme estinte, “senili”, in via di estinzione, e recenti) può essere attribuita alla dislocazione differenziale di blocchi fagliati che rende plausibile l’ipotesi di una possibile “migrazione” del fenomeno *sinkhole*. Tale osservazione è rafforzata dalle analisi strutturali che hanno messo in evidenza una distensione generale verso i quadranti sud-occidentali della piana che potrebbe aver provocato in superficie uno spostamento relativo (dei blocchi) e progressivo dell’attività dei *sinkholes*. L’attività tettonica che ha agito nella piana ha causato il sollevamento del settore settentrionale e della porzione orientale, quest’ultima, separata dalla faglia di Fiamignano-Micciani che solleva il blocco di destra. A questi movimenti (di tipo distensivo) consegue un analogo spostamento delle principali vie di migrazione (faglie) dei fluidi di origine profonda. Pertanto la presenza di fenomeni di *bubbling* nei *sinkholes* (insieme alle elevate concentrazioni di alcune specie gassose nel suolo), può considerarsi diagnostica di un fenomeno ancora attivo e/o recente; sono evidenti, infatti, le differenze geochimiche con i tipici laghetti della piana che possiamo considerare *sinkholes* allo stadio “senile”. Tali risultati potrebbero indicare che, almeno allo stadio attuale, la pericolosità del territorio per sprofondamenti è molto elevata nella zona compresa tra le Terme di Cotilia e Loc. Fiecciani sulla destra idrografica del fiume Velino.